

Alaittin Elhan
Prof. Dr.
Anatomi Anabilim Dalı Başkanı
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ankara

İbrahim Tekdemir
Prof. Dr.
Anatomi Anabilim Dalı
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ankara

Ayhan Cömert
Dr.
Anatomi Anabilim Dalı
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ankara

Murat Bozkurt
Doç. Dr.
Sağlık Bakanlığı Dışkapı Yıldırım
Beyazıt Eğitim ve Araştırma
Hastanesi
III. Ortopedi Klinik Şefi
Ankara

Ergin Tönük
Y. Doç. Dr.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Gürol İpek
Makina Yüksek Mühendisi
BIAS A. Ş.
ODTÜ Teknokent
Ankara

Yumuşak ve Sert Doku Malzeme Deney Sistemi için Elektronik Veri Toplama Birimi Tasarım ve Uygulaması

Gerek yumuşak ve sert dokuların gerekse eklem gibi sistemlerin kontrollü koşullarda yüklenmesi ve yükleme karşısında mekanik tepkisinin ölçülmesi hem anatomik hem de biyomekanik çalışmalarda önemli bir yer tutar.

Bu amaçla kullanılan Ernst Leitz Wetzlar deney sisteminde hareket bir kol aracılığıyla elle verilmekte, kolun attığı tur sayısı ile deney örneğindeki uzama kestirilmekte, deney örneğine bağlı yaylı el kantarı ile uygulanan kuvvet ölçülmekteydi. Kuvvet ölçümünün yaylı el kantarı ile yapılması hem kuvvet ölçümünün istenen hassasiyette yapılamamasına neden olmakta hem de kantarın ucunda kuvvete bağlı olarak oluşan ihmal edilemeyecek düzeydeki yer değiştirme nedeniyle deney örneğindeki uzamanın hassas olarak belirlenebilmesi güçleşmekteydi.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde üretilen gerinim ölçer tabanlı yük (kuvvet ölçüm) hücresi ve hazır alınan doğrusal yer değiştirme ölçer aracılığıyla deneyler sırasında deney örneği üzerinde oluşan kuvvet ve yer değiştirme bilgisi eskisine kıyasla daha hassas olarak ölçülerek bilgisayar ortamına eşzamanlı olarak aktarılabilmekte, hazırlanan arayüz programı ile bu verilerin zaman içerisindeki değişimleri incelenebilmekte, kolaylıkla değişik grafiklerle temsil edilebilmekte ve daha ileri çözümler için yazı tabanlı dosyalarda saklanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak ve sert doku deneyleri, çekme deneyi, basma deneyi, kopma deneyi.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada değişik malzeme örneklerini bağlamak için farklı çenelere sahip, deney sırasında 200 mm yer değiştirme yapabilen ve birkaç milimetreden 300 mm'ye kadar değişik uzunluklarda örnekler üzerinde çekme, basma ve kopma deneyleri yapabilen, elle tahrik edilen, deney örneğinin tepki kuvveti yaylı el kantarıyla ölçülen Ernst Leitz Wetzlar masa üzeri deney sisteminin temel ekipmanları kullanılmıştır. Sistemin mevcut haliyle temel üç sakıncası bulunmaktaydı:

- Deney örneğinin tepki kuvveti, hassasiyeti ve çözünürlüğü düşük, tam kapasitesi 50 kg_f (yaklaşık 500 N) olan bir yaylı el kantarıyla ölçülmekteydi,

- Deney örneğindeki uzama miktarı elle tahrik edilen kolun tur sayısı ile kestirilmekte ancak yaylı el kantarında oluşan ihmal edilemeyecek uzama nedeniyle örnekte oluşan uzama kestirilenden daha az olmaktadır,
- Deney örneğindeki uzama ile tepki kuvvetinin deney sırasındaki değişimi veya kopma deneylerinde kopma anındaki tepki kuvvetinin yaylı el kantarından gözle okunarak tam olarak belirlenmesi güç olmaktadır.

Bu sakıncaların ortadan kaldırılması için tepki kuvveti ölçümünün yaylı el kantarına göre daha hassas ve uzaması ihmal edilebilecek kadar küçük bir sistemle yapılması, deney örneğindeki uzamanın hassas olarak ölçülmesi, yapılan hassas kuvvet ve

uzama ölçümlerinin eş zamanlı ve gerek duyulan yüksek örnekleme hızlarında bilgisayara aktarılmasının uygun olacağı düşünülmüş ve bu yönde sistem tasarımı ve bileşen seçimine başlanmıştır.

2. SİSTEM TASARIMI

Deney Örneğindeki Uzamanın Ölçümü

Kuvvet ölçüm sisteminin yeterli rijidlikte olduğu çoğu deney sisteminde, deney örneğinin uzaması sistem çenelerinin yer değiştirmesine eşit kabul edilir. Bu durumda çenelerden birinin bağlı olduğu deney sisteminin sabit kısmı referans olarak alınarak hareketli çenenin yer değiştirmesini ölçmek üzere 200 mm yer değiştirme kapasitesine sahip bir doğrusal yer değiştirme algılayıcı (LDS, *linear displacement sensor*, Penny+Giles, SLS190/2008K/L66/1 KP 31282) ve bu algılayıcıya ait sinyal şartlandırıcısı seçilmiş, sistemin sabit ve hareketli parçaları arasına, hareketli çenenin hareketi yönünde monte edilmiştir. Algılayıcının üretici tarafından deklare edilen doğrusallığı % 0.15, ölçümün tekrar edilebilirliği -30 ile 100°C sıcaklık aralığında 0.01 mm, yer değiştirme çözünürlüğü ise sonsuzdur.

Deney Örneği Tepki Kuvvetinin Ölçümü

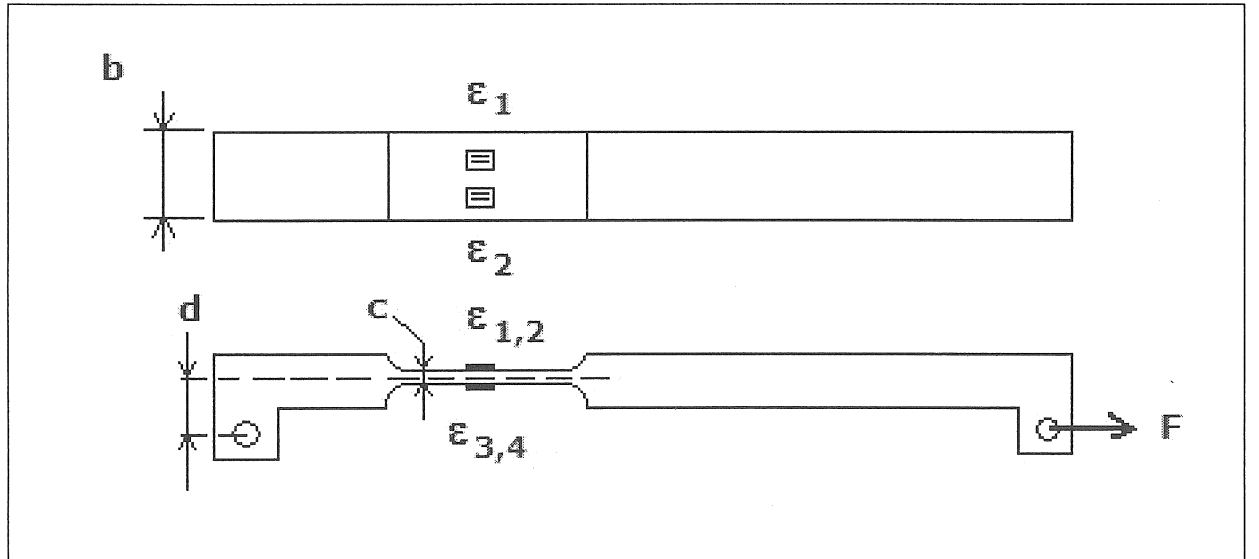
Değişik büyüklük ve elastik özelliklerdeki deney örnekleri üzerinde hassas deneyler yapabilmek üzere üç farklı kapasitede yük (kuvvet ölçüm) hücresi tasarımı öngörülmüştür. Bunlar gerinim ölçer tabanlı, 10, 100 ve 1 000 N kapasiteli olarak seçilmiştir. Bu

tür deney sistemlerinde özellikle hatalı kullanımda hasar görmeye en açık elemanlar yük hücreleri olduğu için, ayrıca bu tür ticari yük hücrelerinde alım maliyetinin çok yüksek olması buna karşılık yük hücresi üretim teknolojisine ülkemizde de sahip olunması nedeniyle yerli olanaklarla tasarım ve üretimine karar verilmiştir. Bu çalışmada sadece 100 N kapasiteli yük hücresi ile ilgili tasarım ayrıntıları sunulmuş olup 10 ve 1000 N kapasiteli olanlar için de sunulan yöntem izlenmiştir.

Yük hücresi tasarımı: Mevcut deney sisteminin geometrisi ve yük hücresi yapacak araştırma grubunun deneyimleri ışığında yük hücresinin kaçık geometri ile çekmeyi eğilmeye çeviren ve eğilmede serbest yüzeylerden birinin uzama değerinin kısılma durumunda olduğu yük hücresi tipi seçilmiştir (Şekil 1).

Yük hücresi ölçüleri belirlenirken kimi ölçüler mevcut cihaza bağlanma gerekliliği nedeniyle doğrudan seçilmiş, diğer ölçüler ise tasarım hesapları ve çeşitli tasarım kriterlerinden sonra belirlenmiştir. Şekil 1'de gösterilen b, c ve d ölçüleri temel tasarım ölçüleri olduğu için tasarıma bu ölçülerle başlanmıştır.

Genel kabul gören yaklaşım [1], yüklerin ölçüleceği yerlerde ölçülecek en yüksek yükte gerinme değerinin 500 $\mu\epsilon$ civarında olmasıdır. Ancak yük hücresinin yanlış kullanımlara karşı dayanıklı olması istendiği için bu değer yarısı kabul edilmiş ve hesaplar 250 $\mu\epsilon$ değerine göre yapılmıştır. Yük hücresinin yapıldığı çelik malzemenin akma gerinmesinin 2 m ϵ civarında [2] olduğu göz önüne alındığında yük hücresinin, teorik olarak tasarım yükünün sekiz katına kadar bir yükte bile hasar



Şekil 1 Yük hücresi geometrisi ve gerinim ölçerlerin hücre üzerindeki yerleri

görmeyeceği açıktır. Yapılan hesaplar sonucu üç farklı tipteki yük hücrelerine ait ölçüler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Yük hücresi ölçüleri

Yük Hücresi Tipi	10 N	100 N	1000 N
b [mm]	26.70	26.70	26.70
c [mm]	1.00	3.00	7.00
d [mm]	20.50	20.50	20.50

Değişik kapasitedeki yük hücreleri için Tablo 1'de verilen ölçülerle eğilme gerilmesi ve gerinmesi şu şekilde hesaplanır [3]:

$$\sigma_E = \frac{M \frac{c}{2}}{I} \quad (1)$$

(1) numaralı denklemde

$$M = Fd \quad (2)$$

ve

$$I = \frac{1}{12} bc^3 \quad (3)$$

Bu değerler (1) numaralı denkleme girildiğinde aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\sigma_E = \frac{6Fd}{bc^2} \quad (4)$$

100 N kapasiteli yük hücresi için ölçüler girildiğinde $\sigma = 0.5119F$ değeri elde edilir. Burada σ MPa, F N cinsindedir.

Ancak yük hücresi eğilmeye ek olarak aksel bir yük de taşır. Aksel yük için gerilme şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_e = \frac{F}{bc} \quad (5)$$

Malzemenin akma sınırına yakınlığının kontrol edilmesi için 100 N kapasiteli yük hücresi için ölçüler (5) numaralı denkleme girildiğinde $\sigma_e = 0.01248F$ değeri elde edilir. Yük hücresinin yapıldığı malzemenin çekmede göreceği en büyük gerilme değeri eğilmeden ve çekmeden ötürü oluşan gerilmeler sonucu şöyle hesaplanır:

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{E} (\sigma_E + \sigma_e) \quad (6)$$

(6) numaralı denklemde 100 N kapasiteli yük hücresi için değerler ve çelik malzeme için $E = 200$ GPa değeri girildiğinde, istendiği gibi, yaklaşık 250 $\mu\epsilon$ değeri bulunur.

Yük hücresinin alt ve üst yüzlerindeki ikişer adet gerilme ölçer eğilmeyi ölçmek üzere birbirlerine tam Wheatstone köprüsü biçiminde bağlanmışlardır. Şekil 1'de gösterildiği gibi yük hücresinin bir yüzündeki gerilme ölçerler 1 ve 2, diğer yüzündeki gerilme ölçerler 3 ve 4 olarak numaralandığında ölçülen gerilmeler:

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7a)$$

$$\varepsilon_2 = -\varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7b)$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7c)$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7d)$$

ve tam köprü tarafından ölçülen gerilme de:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \quad (8)$$

olur. (7a)-(7d) denklemlerine girildiğinde:

$$\varepsilon = 4\varepsilon_E \quad (9)$$

olur. Tam köprü yapı aksel yüklerle duyarlı olduğu gibi sıcaklık değişmesi sonucu oluşan genleşmeye de duyarlıdır.

Denklem (9)'dan da görüldüğü gibi oluşan çekme (veya basma) yönündeki gerilmeler ters işaretli oldukları için birbirini götürür ve elektriksel sinyal çıkışında görünmez [4-5]. Bu durumda Wheatstone köprüsünün çıkış gerilimi:

$$V_k = V_{cc} G\varepsilon \quad (10)$$

olur. Burada V_{cc} Wheatstone köprüsünün besleme gerilimi (5 V), G gerilim ölçer katsayısıdır (2.10). Bu değerler (10) numaralı denkleme girildiğinde köprünün çıkış gerilimi için

$$V_k = 25.2\varepsilon \quad (11)$$

elde edilir. 500 $\mu\epsilon$ için 6.3 mV köprü çıkış gerilimi elde edilir. Bu elektrik gerilimi gerek veri toplama kartında hassas bir sayısallaştırma için yetersiz olduğundan gerekse elektriksel parazite açık olduğundan kazancı 500 olan bir yükselticiden (Entran, Model: IAMR-28U/05/500-WW, Seri No: PO4873) geçirildikten sonra veri toplama kartına bağlanmıştır. Bu durumda, 500 $\mu\epsilon$ için 3.15 V gerilim elde edilmektedir. Yükseltici, 12 V DC gerilim ile beslenmekte, Wheatstone köprüsünü ise 5 V ile kendisi beslemektedir.

Yük hücresi kalibrasyonu: Yük hücresinin tasarımı sırasında kullanılan denklemler ile yük hücresinin verdiği gerilimin ne kadar yüke karşılık

kişer
erine
ırdır.
bir
deki
ında

7a)
7b)
7c)
7d)

(8)

9)

sız
an

an
rs
el
la

)

e
ı
e

geldiği kestirilebilir. Ancak bu denklemler hem yük hücresi ölçülerinin hem de yük hücresinin yapıldığı malzemenin elastik modülünün tam ve kesin olarak bilindiğini varsaymaktadır. Gerek yük hücresi ölçülerinde üretim hassasiyeti nedeniyle oluşabilecek farklılıklar gerekse kullanılan çelik malzemenin elastik modülünde olabilecek farklılıklar ile yük hücresi ölçümlerinin hesap yoluyla kestirilen değerden hem de doğrusallıktan sapıp saptadığını gözlemek için yük hücreleri Lloyd biyomekanik malzeme deney cihazı ve bu cihaza ait 2 kN kapasiteli yük hücresi ile kalibre edilmiştir. 100 N kapasiteli yük hücresinin 500 N yüke kadar hem yük arttırmada hem de yük eksiltmede doğrusallıktan sapmasının ihmal edilebilir düzeyde olduğu ($R^2 = 0.9998$ ve 0.9994), kalibrasyon sabitinin de hemen hemen aynı değerde (17.070 ve 16.829 N/mV) olduğu görülmüştür (Şekil 2).

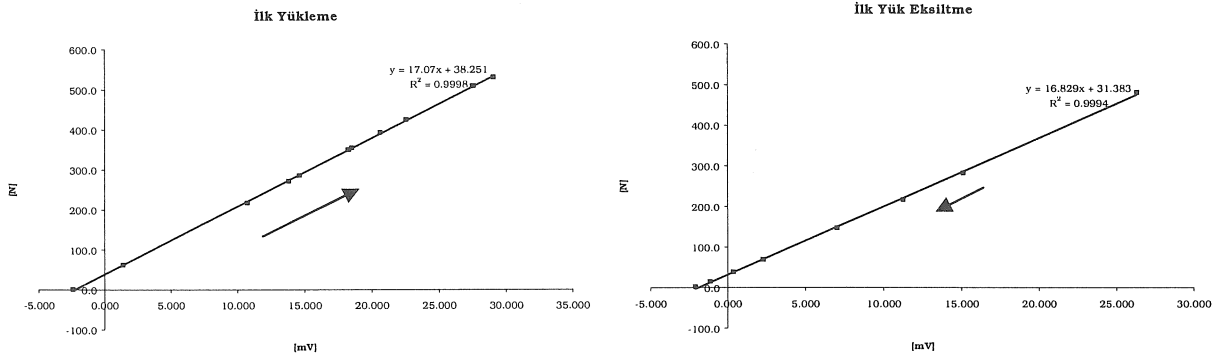
Deney Verilerinin Bilgisayara Aktarımı

Veri toplama kartı: Deney sistemi üzerine eklenen yük hücresi ve doğrusal yer değiştirme ölçerden elde edilen elektriksel sinyaller National Instruments PCI 6023E veri toplama kartı kullanılarak sayısallaştırılıp bilgisayara aktarılmaktadır. Anılan veri toplama kartı 16 kanallı tek ortak uçlu veriyi veya 8 kanallı çift uçlu veriyi saniyede 200 000 veriye kadar 12 bit çözünürlükte (± 1 least significant bit hassasiyetinde) sayısallaştırarak ve ± 50 mV (24.4 μ V/bit) ile ± 10 V (4.88 mV/bit) tam skala aralıklarında alabilmektedir. Yük hücresi ile doğrusal yer değiştirme algılayıcısının elektriksel sinyalleri çift uçlu olarak kartın girişlerine bağlanmıştır.

Deney sistemi bilgisayarı: Veri toplama işleri için teknolojik ömrünü büyük ölçüde doldurmuş, Intel Celeron 366 MHz işlemcili, 128 MB bellekli, ve 3 GB sabit diske sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayara işletim sistemi olarak Windows 2000 Professional ve yazılım olarak da Matlab® 6.1 yüklenmiş, yerel ağ üzerinden ham deney verileri diğer bilgisayarlara aktararak burada işlenmiştir. Yük hücresinin yükselticisi ile doğrusal yer değiştirme algılayıcısının gereksinim duyduğu 12 V DC besleme, deney sistemi bilgisayarının güç kaynağından sağlanmıştır.

Deney sistemi arayüz yazılımı: Deney sistemi arayüz yazılımı, deney bilgisayarı üzerinde bulunan Matlab® 6.1 yazılımı kullanılarak ilerideki gereksinimler doğrultusunda geliştirilmek üzere modüler olarak hazırlanmıştır.

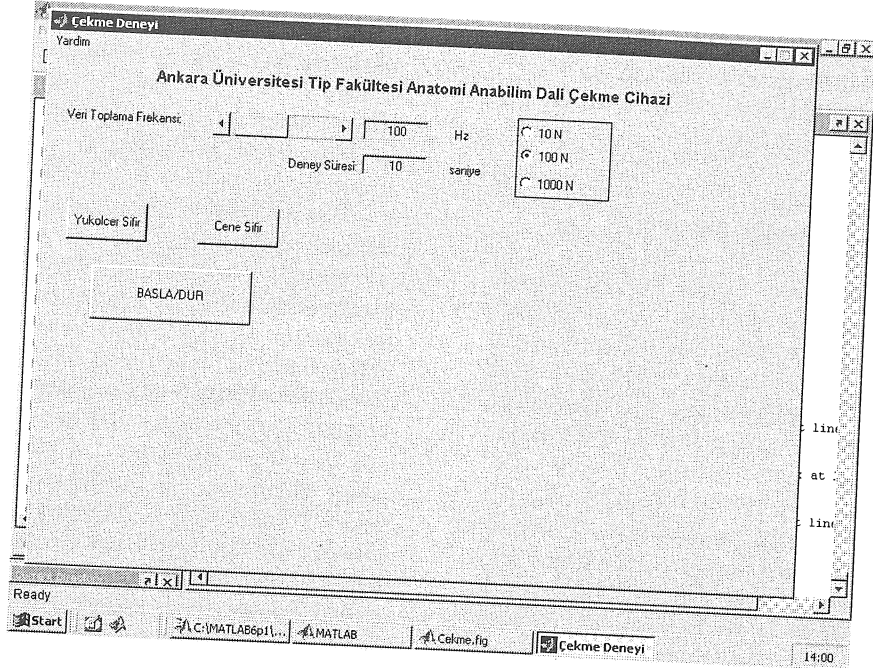
Deney arayüz programının bu sürümünde, sisteme takılı olan yük hücresinin kapasitesini seçmek için 10, 100, 1000 N yük ölçer seçenekleri vardır. Ayrıca değişik uygulamalar için veri toplama frekansının ayarlanabildiği sürgülü bir düğme ve deney süresinin belirlendiği bir pencere vardır (Şekil 3). Deney örneği çenelere bağlandıktan ve uygun konuma getirildikten sonra mevcut konum ve yükü sıfır kabul etmek için "Yükölçer Sıfır" ve "Çene Sıfır" düğmeleri tıklanır. Veri toplamaya başlamak için "BAŞLA/DUR" düğmesi tıklanır ve deney sistemi elle tahrik edilerek oluşan yer değiştirme ve tepki kuvveti kaydedilir. Belirlenen sürenin sonuna gelindiğinde deney sistemi veri almaya otomatik olarak keser. Bu süreden önce veri almaya son vermek için basılı durumda bulunan "BAŞLA/DUR" düğmesi yeniden tıklanabilir.



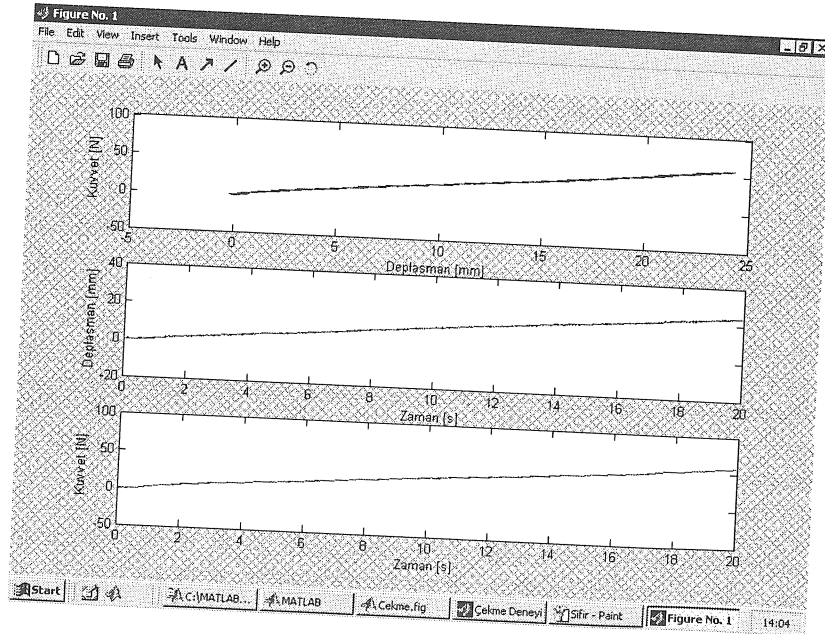
Şekil 2 100 N kapasiteli yük hücresinin yükselticisiz kalibrasyon eğrileri (solda yük arttırma, sağda yük eksiltme durumunda)

Deney bitiminde alınan ham veriler (zaman [s], yer değiştirme [mm] ve tepki kuvveti [N]) daha ileri çözümlemesinin yapılabilmesi için yazı dosyası olarak kullanıcı tarafından belirlenen bir dizine kaydedilir ve deneyin sağlıklı yapıp yapılmadığı hakkında hemen fikir verebilmek için kullanıcıya grafik olarak sunulur (Şekil 4). Bu grafikler sırasıyla, malzeme elastik özellikleriyle ilgili bilgi veren kuvvet-yer değiştirme (deplasman) grafiği, cihazın elle tahriği hakkında bilgi veren yer değiştirme-zaman grafiği ve tepki kuvveti-zaman grafiğidir.

Deney sisteminin genel görünüşü Şekil 5'te sunulmuştur. Sistemin hareketini sağdaki kol sağlamaktadır. Deney örneği, kol tarafından hareket ettirilen ve yük hücresinin de üzerinde bulunduğu hareketli parça ile sistemin en solunda bulunan sabit parça üzerindeki çenelere bağlanabilmektedir. Sistemin, değişik örneklerin bağlanabilmesine olanak tanıyan farklı çeneleri bulunmaktadır.

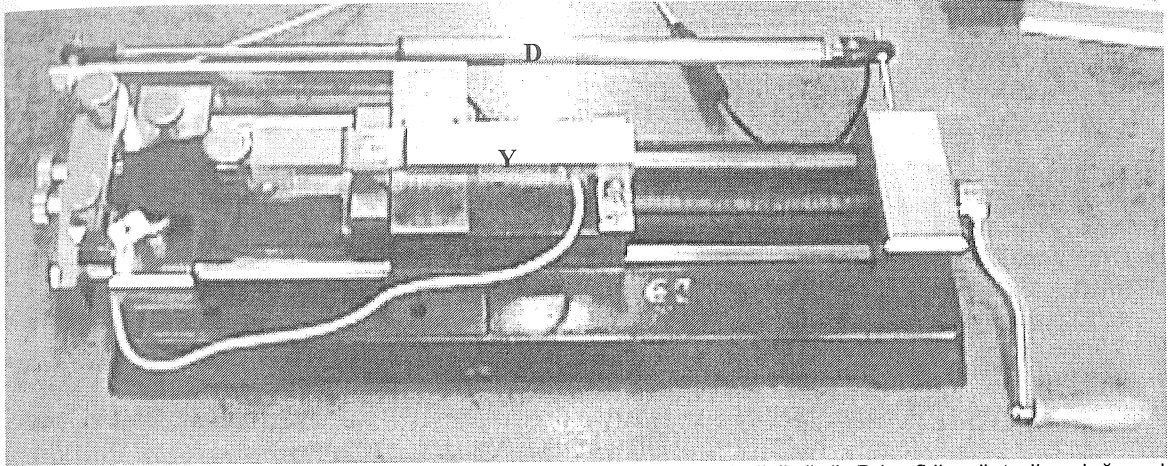


Şekil 3 Deney sistemi arayüz penceresi



Şekil 4 Ham deney sonuçlarını sunan pencere

l 5'te
kol
areket
duđu
sabit
tedir.
lanak



Şekil 5 Elektronik veri toplama birimleriyle birlikte deney sisteminin genel görünüşü. D harfi ile gösterilen doğrusal yer değiştirme ölçer, Y ile gösterilen ise elektronik yük hücresidir.

3. SONUÇ

Mevcut Ernst Leitz Wetzlar mekanik çekme cihazına takılan 200 mm kapasiteli elektronik yer değiştirme ölçer ve 10, 100 ve 1000 N kapasiteli yük hücresi sayesinde mekanik çekme cihazından gelen deney örneğine ait uzama ve tepki kuvveti bilgileri hazırlanan arayüz yazılımı aracılığıyla eşzamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılmış, deney sırasında elde edilen tepki kuvveti-uzama, uzama-zaman ve tepki kuvveti-zaman grafikleri yapılan deneyin kalitesi ile ilgili fikir vermesi amacıyla hemen ekranda gösterilmiştir. Öte yandan farklı yazılımlarla daha ileri incelemelerin yapılabilmesi için zaman, uzama ve tepki kuvveti bilgileri yazı dosyası olarak sabit diskte istenen bir dizin altına saklanmıştır. Cihazın yeni durumuyla biyomekanik çalışma yapan kullanıcılara eskisinden daha hassas bilgiler sağlayacaktır.

Cihazı kullanacak araştırmacılardan gelen talepler doğrultusunda arayüz yazılımında, cihazın deney örneklerini tutan çene çeşitlerinde değişiklikler yapılabilir, farklı kapasitede yük hücreleri sisteme eklenebilir. Mevcut veri toplama kartı ve arayüz yazılımı, gerek duyulması halinde deney sisteminin bir adım motor ile istenen hızda tahrik edilmesine olanak verecek özelliktedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK SBAG-AYD-479 kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, üretilen yük hücrelerinin kalibrasyonunu ODTÜ Mühendislik Bilimleri Bölümü Biyomekanik Laboratuvarında gerçekleştiren Y. Doç. Dr. Senih Gürses'e teşekkür eder.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DATA ACQUISITION SYSTEM FOR SOFT AND HARD TISSUE TESTING SYSTEM

Mechanical testing of soft and hard biological tissues as well as biological systems like joints under

controlled conditions is important both anatomically and biomechanically.

Till now, Ernst Leitz Wetzlar equipment was utilized for the mechanical tests. This equipment was driven by a hand-crank and the displacement applied to the test specimen was calculated by counting the number of revolutions of the hand crank whereas the load on the test specimen was measured by a spring-scale. Spring-scale is not a precise equipment, further, there is a considerable amount of elongation which deteriorates the calculated displacement of the test specimen.

Within the scope of this study, strain gauge based loadcell was produced in Turkey and an off-the-shelf linear displacement sensor (LDS) was mounted on the existing equipment. Using the computer interface developed within the scope of this study, the reaction force and elongation of the specimen data can be logged to a computer simultaneously and can be either represented in different forms of graphs or saved to a text file for further analysis.

Keywords: Soft and hard tissue experiments, tension test, compression test, failure test.

KAYNAKÇA

- 1 *Strain Gage Based Transducers, Their Design and Consideration* Measurements Group, Inc., Raleigh, North Carolina 27611, USA.
- 2 Shigley, J. E., *Mechanical Engineering Design*, First Metric Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1988.
- 3 Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., *Mechanics of Materials, Fourth Edition in SI Units*, McGraw-Hill, Singapore, 2006.
- 4 Vishay Measurements Group, *Micro-Measurements Catalog 500, Precision Strain Gages*, USA, TD, 2000.
- 5 *National Instruments Application Note 078*, <http://ni.com>, 1998.