

## Tornalama işleminde kesme kuvvetlerini ölçen gerinim ölçer esaslı dinamometre tasarımı ve imalatı

**Eyüp Sabri TOPAL<sup>1</sup>, Can COĞUN<sup>2</sup>, Durmuş ODABAŞ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 38039 KAYSERİ

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü 06570 ANKARA

### **Anahtar Kelimeler**

Tornalama  
Kesme kuvvetleri  
Dinamometre

### **ÖZET**

Kesme kuvvetlerinin ölçümü talaş kaldırma işleminde prosesinin sağlıklı şekilde incelenebilmesi için özellikle akademik araştırmalar açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma ile tornalama işleminde kesme kuvvetlerini duyarlı şekilde ölçen ve bilgisayar yardımıyla kaydeden gerinim ölçer (strain gauge) esaslı bir dinamometre tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Dinamometre, çapraz girişimi en aza indirecek ve sıcaklık değişimlerini telafi edecek şekilde tasarlanmıştır. Değişik kesme koşulları altında yapılan testler dinamometrenin tornalama işleminde kesme kuvvetlerini güvenilir şekilde ölçebileceğini ve kaydedebileceğini göstermiştir.

## Design and construction of a strain gauge based cutting force dynamometer for turning operations

**Keywords**  
Turning,  
Cutting forces,  
Dynamometer

### **ABSTRACT**

Cutting force measurement has an importance in machining on account of appropriate examination of cutting process especially in academic researches. In this study, design and construction of a strain gauge based dynamometer was realised which is measuring cutting forces in turning and recording them by a computer. The proposed dynamometer is designed so as to minimize cross-interference and compensate temperature deviations. Tests realised under various cutting conditions showed that the proposed dynamometer could be used reliably to measure and record cutting forces in turning.

\* Sorumlu yazar (Corresponding author) e-posta: [topal@erciyes.edu.tr](mailto:topal@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Talaşlı işlemede oluşan kesme kuvvetleri, işparçası boyutsal tamlığı, yüzey kalitesi, takım aşınması ve kesme bölgesinde ısı oluşumunu önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Ayrıca tezgah, kesici takım ve yardımcı aparatların tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Bu yönleriyle çok sayıda araştırmaya konu olmuş ve kesme kuvvetlerinin ölçülmesi amacıyla çeşitli kuvvet ölçerler geliştirilmiştir [1].

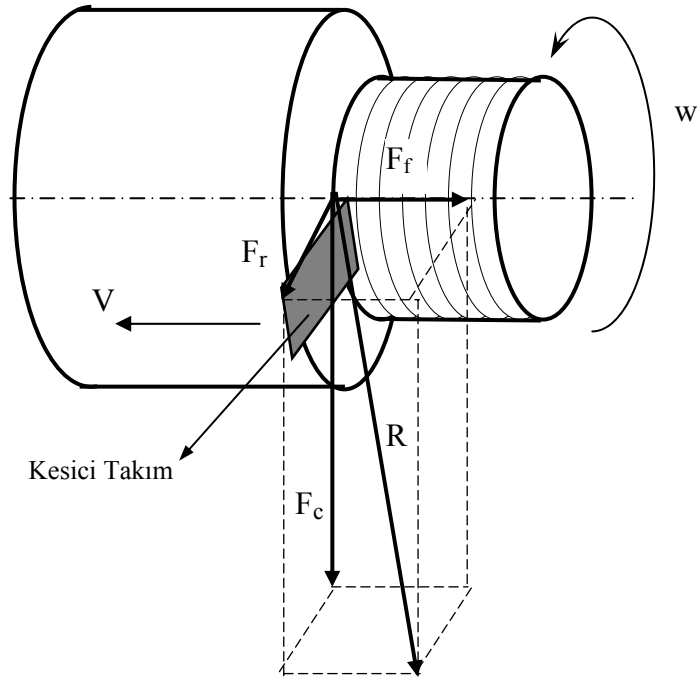
Literatürde kuvvet ölçümü için geliştirilen çeşitli dinamometreler yer almaktadır. Bunlar genellikle gerinim ölçer (strain-gauge) ve yük hücresi (load cell) esaslı dinamometrelerdir [2]. Jeong ve Cho kesme kuvvetlerini ölçmek ve analiz etmek üzere adaptif bir sistem geliştirmişler, bu sistemle akım, kesme kuvveti ve motorun dönme açısı sinyalleri esas alınarak, kesme kuvveti ile motorun çektiği akım arasında bir ilişki ortaya koymuşlardır [3]. Sağlam ve Ünüvar tüm takım tezgah türlerinde kullanılacak, gerinim ölçer esaslı ve gerinme ringlerinden oluşan çok amaçlı bir dinamometre imal ederek takım aşınmasının bilgisayar desteğiyle gerçek zamanlı (real time) izlenmesinde kullanmışlardır [4]. Kaçal ve ark. azdırma tezgahında dişli çark imalatı sırasında hem işparçası hem de takım hareketli iken kesme

kuvvetlerini ölçecek bir dinamometre imalatı gerçekleştirmişlerdir [5].

Dinamometre tasarımı ve imalatında ölçme sisteminin güvenilirliği konusu algılama duyarlılığı, çapraz girişim ve sıcaklık dengelemesi şeklinde üç temel parametre ile yakından ilgilidir. Bu çalışmada her üç hususta tatmin edici performansa sahip bir dinamometre tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık, çapraz girişim ve sıcaklık dengelemesi konularında yapılan düzenlemeler aşağıdaki ilgili başlıklar altında ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

## 2. Tornalamada Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde büyük kuvvetler oluşmaktadır. Takım ve işparçasının birbirine göre konumu, kuvvetin bir sonucu olarak işparçasının ve çeşitli tezgah elemanlarının esneme miktarına bağlı olarak değişir. Tornalama işleminde takım-işparçası etkileşimi üç bileşenli bir kuvvet sistemiyle ifade edilir (Şekil 1). Bunlardan ana kesme kuvveti ( $F_c$ ) diğer bileşenlerden daha büyüktür. Radyal kuvvet ( $F_r$ ) genellikle en küçük bileşen olmakla birlikte etkiye doğrultusu açısından önemli bir hata kaynağıdır. İlerleme kuvvetinin ( $F_f$ ) ise gerek büyüklük ve gerekse doğrultu açısından hataya önemli bir etkisi olmadığından çoğunlukla ihmal edilir [6].



Şekil 1. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvet bileşenleri

### 3. Temel Prensip

Cisimler kuvvete maruz kaldıkları zaman şekil değiştirirler. Birçok malzemede ve özellikle metallerde bu şekil değişimi kendisini oluşturan kuvvetle ilişkilidir. Bundan faydalanabilmek için kuvvet ya da gerilim ile şekil değişimi arasındaki bu ilişkinin tanımlanması gerekir. A kesitine ve l boyuna sahip bir metal çubuğa F çekme kuvveti uygulanırsa bu kuvvetin cisimde oluşturduğu gerilim ( $\sigma$ ),

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Cisme yapılan bu etki çubuğun l boyunda  $\Delta l$  kadar bir boy uzamasına sebep olur. Birim boyda meydana gelen bu boy uzamasına gerinim  $\varepsilon$  (strain) adı verilir ve

$$\varepsilon = \Delta l / l \quad (2)$$

olarak tanımlanır.

Metallerde gerilim – gerinim ilişkisi belli bir noktaya kadar doğrusaldır. Bu doğrusal ilişkinin eğimine elastiklik modülü (E) adı verilir ve

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (3)$$

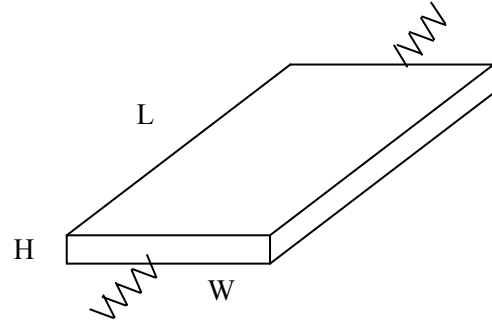
şeklinde ifade edilir. Doğrusal bölgeye elastik bölge, bozulduğu bölgeye (noktaya) elastiklik sınırı adı verilir. Elastik bölgedeki deformasyonlar geri dönüşlü (elastik) ve elastikliğin bozulmasından sonraki deformasyonlar geri dönüşsüz (plastik) özelliktedir. Çekme tipi yüklemeler için yapılan bu tanımlar diğer yüklemeler için de (basma, eğme, burma) küçük farklarla geçerlidir [7].

### 4. Şekil Değişikliğini Ölçme

Çok küçük şekil değişimlerinin ölçülmesinde bir elastik cismin elektriksel direncinin şekil değiştirmeye bağlı değişiminden faydalanılır. Şekil 2 de gösterilen iletkenin elektriksel direnci R boyu ile doğru, kesit alanı ile ters orantılıdır. Bu durum

$$R = \rho L / (H \cdot W) = \rho L / A \quad (4)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada  $\rho$  iletken malzemenin iç direncidir. Bu iletkenin çekme gerilimi karşısında boyu uzar ve kesit alanı küçülür. Bu değişikliklerin etkisi ile



Şekil 2. Bir iletkenin elektriksel direnci

direnç değeri aşağıdaki ifadeyle olduğu şekilde artar;

$$R + \Delta R = (\rho + \Delta\rho) (l + \Delta l) / (A - \Delta A) \quad (5)$$

Burada  $\Delta\rho$  ve  $\Delta A$  değerlerinin ihmal edilecek kadar küçük olduğu düşünülürse dirençte meydana gelen oransal değişiklik ( $\Delta R/R$ ) boydaki değişiklik ( $\Delta l/l$ ) orantılıdır;

$$(\Delta R/R) = G (\Delta l/l) \quad (6)$$

Burada G gösterge faktörü adı verilen bir sabittir.  $\Delta l/l$  oranı  $\varepsilon$  olarak tanımlanırsa dirençteki değişim;

$$\Delta R = G \cdot R \cdot \varepsilon \quad (7)$$

olarak yazılabilir [8]. Bu denklem dirençte gözlenen değişikliğin gerinim ile (ve dolayısıyla bir kuvvetle) ilişkilendirilmesine imkan verir. Bu prensibe göre tasarlanmış bir gerinim ölçer (şekil değiştirme göstergesi) yapısal eleman üzerine yapıştırılmak suretiyle ölçüm yapılabilir. Gerinim ölçerlerin en yaygın olan folyo gerinim ölçerlerin yapısı aşağıda verilmiştir.

### 5. Folyo Gerinim Ölçerler

Folyo gerinim ölçerler ince bir polyester veya plastik destek malzemesi (folyo) üzerine ışıklı baskı yoluyla çok ince bir metal ızgara tabakası oluşturularak imal edilir (Şekil 3) [8]. Folyo gerinim ölçer duyarlılığının en yüksek olduğu aktif bir eksene ve en düşük olduğu pasif bir eksene sahiptir. Pasif eksenle aktif eksenin duyarlılıkları arasındaki oran “çapraz duyarlılık (Ç.D.)” olarak adlandırılır ve;

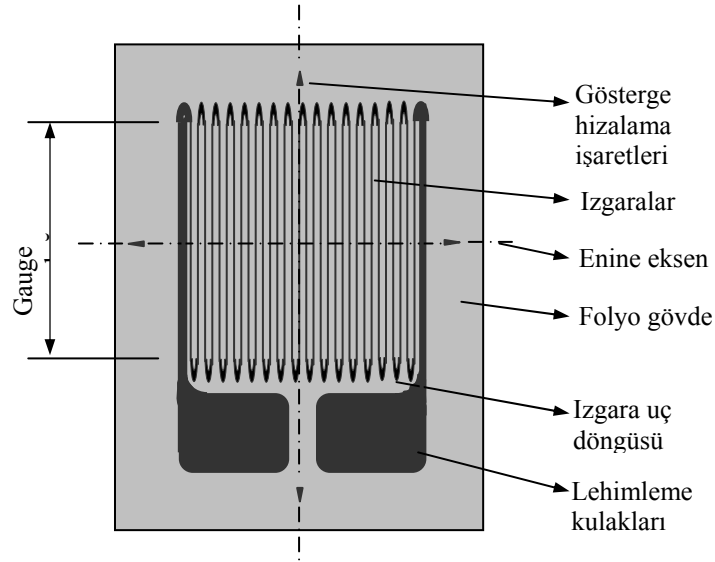
Ç.D.= Pasif eksen doğrultusundaki duyarlılık / Aktif eksen doğrultusundaki duyarlılık (8) şeklinde ifade edilir.

Folyo gerinim ölçerlerle yapılacak başarılı bir çalışmanın ön şartı çok dikkatli bir yapıştırma işlemidir [9]. Çünkü gerinim ölçerin algıladığı şekil değişiminin üzerinde bulunduğu cismin şekil değişimine eşit olması çok önemlidir. Halen kullanımda olan birçok yapıştırıcı veya reçine gerinim ölçerin algılamasını azaltan bir ‘yavaşlatma etkisi’ne sahiptir.

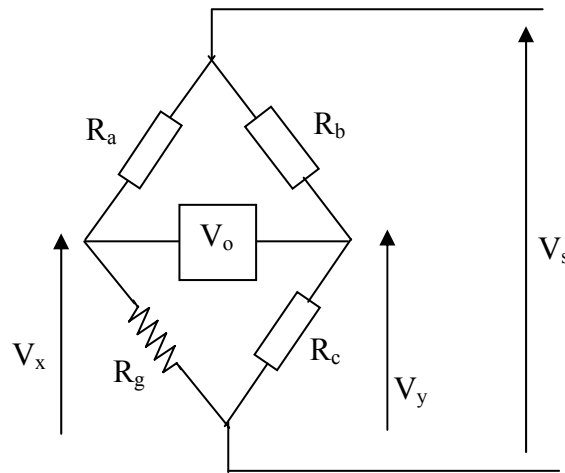
### 6. Köprü Devresi (Wheatstone Köprüsü)

Bir gerinim ölçerin direnci büyük gerinimlerde bile ancak çok küçük değişiklikler gösterir. Bu durum doğrudan gerinim ölçer üzerinden bir çıkış gerilimi

ölçülmesini zorlaştırır. Doğru bir ölçümün yapılabilmesi için Şekil 4 te gösterildiği gibi bir köprü devresi (Wheatstone köprüsü) kurulur. Wheatstone köprüsü bilinmeyen bir direnç değerinin bilinen dirençler yardımıyla tespitini sağlayan bir devredir. Buna göre eğer “ $R_a = R_b$  ve  $R_g = R_c$ ” ise  $V_o$  çıkış gerilimi sıfıra eşit olacaktır. Şayet  $R_a = R_b$  iken  $R_g$  de bilinmeyen bir direnç ise,  $R_c$  yerine ayarlanabilir bir direnç yerleştirilerek  $V_o$  çıkış gerilimi sıfır oluncaya kadar  $R_c$  direnci ayarlanır.  $V_o$  çıkış gerilimi sıfır olduğu anda  $R_c$  ayarlanabilir direncinin değeri  $R_g$  direncinin değerini göstermektedir.



Şekil 3. Tipik bir folyo gerinim ölçer ve terminolojisi [8]



Şekil 4. Wheatstone köprü devresi

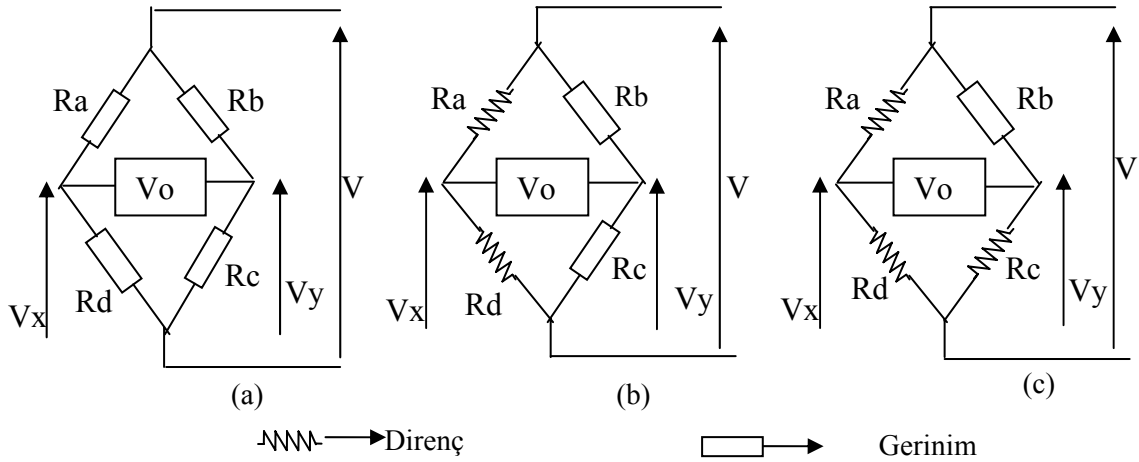
Gerinim ölçerli bir ölçme sisteminde gerçek direnç değerinden çok gerinim ölçerlere etkiyen gerinime bağlı olarak gösterdiği değişimle ilgilenilmektedir. Şekil 4 te görülen köprü devresinde bütün dirençlerin eşit ve köprünün dengede olduğunu farzedelim. Bu durumda  $V_x = V_y = 0.5 V_s$  ve  $V_o = 0$  olacaktır. Eğer gerinim ölçer'e şekil değiştirme uygulanırsa  $R_g$  değeri değişerek  $R_g + \Delta R$  olacak ve  $V_x$  değeri değişirken  $V_o$  çıkış gerilimi sıfırdan farklı olacaktır. Burada  $V_o$  çıkış geriliminde görülen değişikliğin  $\epsilon$  gerinimiyle ilişkilendirilmesi (kalibrasyon) gerekir.

Dört gerinim ölçer kullanılarak kurulan köprüye 'tam köprü', iki gerinim ölçerin eşdeğer dirençlerle dengelenmesine 'yarım köprü' ve tek gerinim ölçer kullanılan üç dirençli duruma ise 'çeyrek köprü' adı verilir (Şekil 5). Endüstriyel uygulamalarda sıcaklık

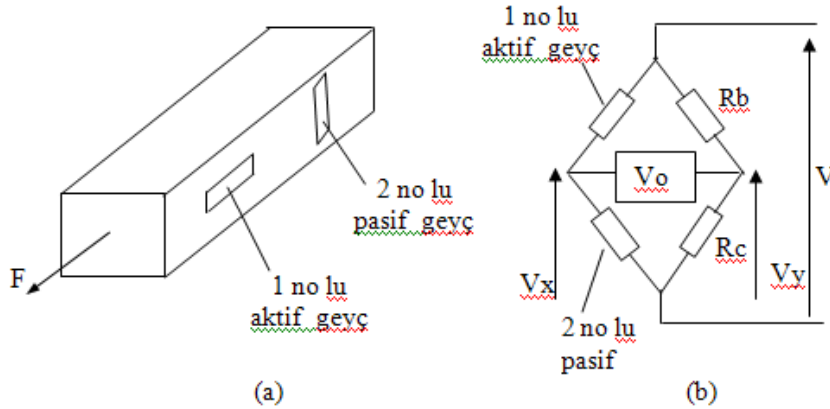
dengelemesinin sağlanması ve hataların en aza indirilmesi için çoğunlukla tam köprü devresi kullanılır.

### 7. Sıcaklık Dengelemesi

Sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan hatalar gerinim ölçerli ölçme devrelerinde karşılaşılan önemli bir problemdir. Ölçme devresi gerinimden kaynaklanan direnç değişikliği ile sıcaklık değişiminden kaynaklanan direnç değişikliğini ayırtamaz. Bu hatayı telafi etmek için gerilim ekseninde bulunan aktif streyn geyçin çok yakınına, gerilim eksenine dik doğrultuda pasif bir gerinim ölçer daha yerleştirilir. Şekil 6 (a) da görülen düzenlemede 1 no'lu



Şekil 5. Köprü dengeleme türleri: (a) tam, (b) yarım ve (c) çeyrek köprü



Şekil 6. Sıcaklık dengeleme yöntemi (a) montaj düzeni (b) köprü devresi

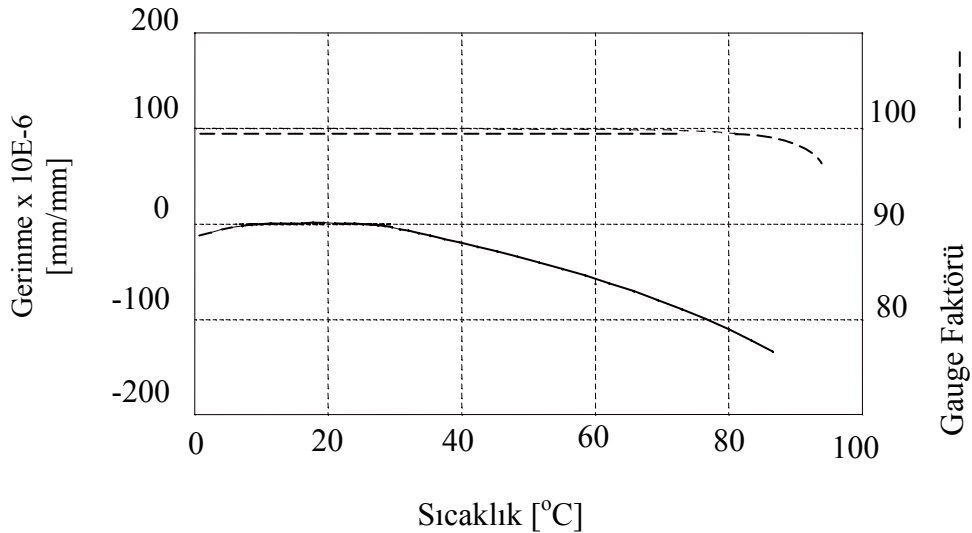
gerinim ölçer gerilim yönünde hizalanırken 2 no lu gerinim ölçer gerilime dik doğrultuda (pasif) hizalanır. Bu durumda Şekil 6 (b) de olduğu gibi kurulan bir köprü devresinde 1 no'lu gerinim ölçer "gerinim + sıcaklık değişimi" şeklinde bir etki ortaya koyarken, 2 no lu gerinim ölçer "sıcaklık değişimi" şeklinde bir etki ortaya koyarak dengeyi sağlayacaktır. Burada 2 no lu gerinim ölçerin direncinde şekil değişiminden kaynaklanan küçük bir değişiklik ve gerinim ölçerlerin sıcaklıkları arasında bulunabilecek küçük sıcaklık farkları ihmal edilir. Tam köprü uygulamalarında ise gerinim ölçerlerin yakın konumlanmaları ve sıcaklık değişimlerinin dört gerinim ölçer'i de aynı anda etkilemesi durumunda doğal bir sıcaklık dengeleme sistemi kendiliğinden oluşur [8].

### 8. Kullanılan Gerinim Ölçerler ve Özellikleri

Dinamometrede Tokyo Sokki Kenkyujo marka FLA-6-11 Tipi,  $6 \times 2.2 \text{ mm}^2$  duyuğac alanı ve  $12.5 \times 4.3 \text{ mm}^2$  folyo alanına,  $120 \Omega$  nominal dirence ve 2.10 geyç faktörüne sahip gerinim ölçerler kullanılmıştır. Geyç faktörü  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar sabit kalmakta, gerinme algılaması ise  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den sonra değişmeye başlamaktadır (Şekil 7). Bu durumda imal edilen dinamometre  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar sıcaklık dengelemesi yapılmaksızın,  $30\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C}$  arasında sıcaklık dengelemesi yapılmak koşuluyla güvenilirdir.

### 9. Gerinim Ölçerlerin Yerleştirilmesi

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak BSD torna tezgahının taret ve takım tutucu sistemlerinin incelenmesi sonucunda gerinim ölçerlerin kater üzerine yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Gerinim ölçerlerin yerleştirilmesinde algılama hassasiyeti, çapraz duyarlılık ve sıcaklık dengelemesi olmak üzere üç önemli faktör dikkate alınmıştır. Takım kuvvetlerinin yapısı gereği kater üzerindeki bir gerinim ölçere, o gerinim ölçerin aktif algılama eksenine aynı doğrultuda iki farklı uyarı aynı anda gelmektedir. Örneğin  $F_c$  kesme kuvvetinin oluşturduğu sehim Şekil 8'teki 1 ve 2 no'lu gerinim ölçerlerde uzama meydana getirirken,  $F_r$  radyal kuvveti aynı gerinim ölçerler üzerinde bir kısalmaya dolayısıyla  $F_c$ 'nin hatalı ölçülmesine neden olabilir. Bu girişimi mekanik olarak engellemek mümkün değildir. Ancak elektronik yolla istenmeyen etki devre dışı bırakılabilir. Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da girişimi engellemek ve sıcaklık değişimlerinin etkisini dengelemek için gerinim ölçerlerin kater üzerine yerleştirme planı ve buna uygun Wheatstone Köprü devreleri gösterilmiştir. Yerleşimi verilen bu gerinim ölçerlerle kuvvet analizinin yapılaş sistematiği aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 7. Sıcaklığın FLA-6-11 tipi gerinim ölçerlerin geyç faktörlerine ve gerinme özelliklerine etkisi [9]

*Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 26(2): 190-202 (2010)*

**i)  $F_c$ 'nin ölçülmesi**

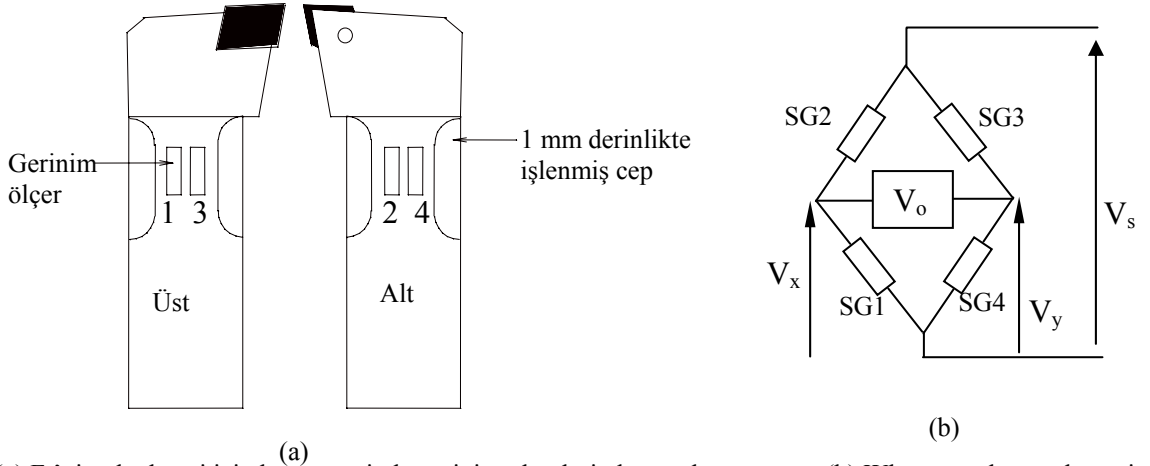
Ana kesme kuvveti  $F_c$  iş parçasının çevresel hız vektörüyle aynı yön ve doğrultuda etki ederek katerin esnemesine sebep olur. Bu esnemeyi algılamak amacıyla gerinim ölçerlerin kater üzerinde konumlandırılması Şekil 8 a'da görülmektedir.  $F_c$  kuvvetinin takım ucuna üstten alta doğru sayfa düzlemine dik doğrultuda etki edeceği düşünülürse katerin üst yüzeyinde çekme tipi gerilme ve gerinme, alt yüzeyinde ise basma tipi gerilme ve gerinme oluşacaktır. Böylece üstte ve alttaki gerinim ölçerler ters yönlü gerilme ve gerinmeye maruz kalacaklardır. Wheatstone köprüsü kurulurken Şekil 8 b'de görülen bağlantı sıralamasına dikkat edilirse üstteki gerinim ölçerlerin (1 ve 3) uzamasıyla  $V_x$ 'de oluşan artışa karşılık alttaki gerinim ölçerlerin (2 ve 4) kısılmasıyla  $V_y$ 'de bir azalma olacaktır. Hem  $V_x$ 'in artması hem de  $V_y$  nin azalması  $V_o$ 'da artış sağlayacağı için algılama hassasiyeti de iki katına çıkmaktadır. Yine algılama hassasiyetini arttırmak amacıyla katerin yüzeyinde oluşan mikro gerinimlerin gerinim ölçerlerin üzerine yığılmasını

sağlamak için 1 mm et kalınlığında cepler oluşturulmuştur (Şekil 8 a).

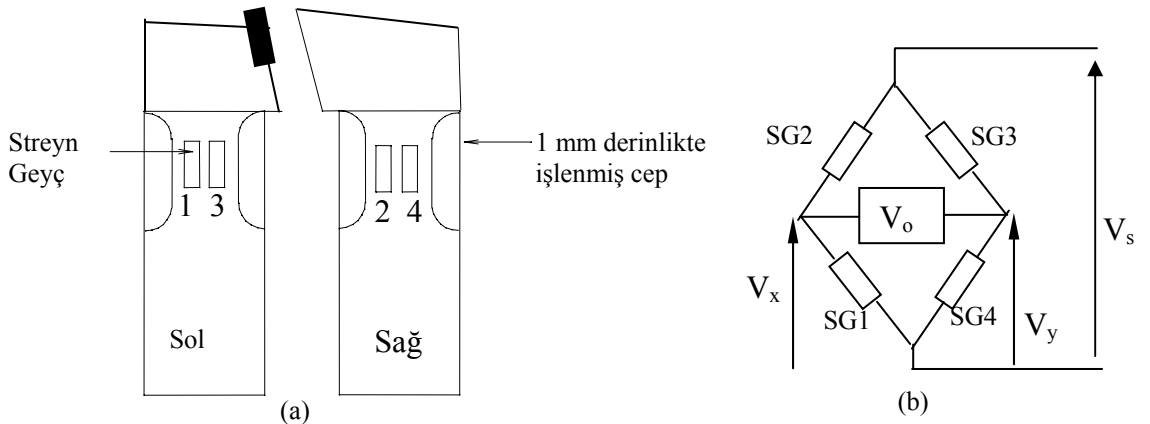
Bu düzenlemenin sağlayacağı ikinci avantaj, diğer kuvvet bileşenlerinin çıkış gerilimini saptırmasını en aza indirmiş olmasıdır. Şekil 1 de gösterilen ilerleme kuvveti  $F_f$ ,  $F_c$ 'yi ölçen gerinim ölçer grubunu pasif doğrultuda ve eşit miktarda etkilediğinden yaptığı girişim  $V_o$  çıkış gerilimini etkilemez. Radyal kuvvet  $F_r$  ise,  $F_c$ 'yi ölçen gerinim ölçer grubunun hepsinin eşit miktarda kısılmasını sağlar. Bu kısılma ise çıkış gerilimini değiştirmez. Bu yerleştirmenin sağladığı bir başka avantaj da sıcaklıktaki değişimin yukarıda anlatılan prensiple dengelenmiş olmasıdır.

**ii)  $F_f$ 'in ölçülmesi**

İlerleme kuvveti  $F_f$ 'in ölçümü Şekil 9 a'da verilen gerinim ölçer yerleşimi ve Şekil 9 b'deki köprü devresiyle sağlanmıştır. Prensip olarak  $F_c$ 'nin ölçülmesine benzemekte olup hem çapraz girişim hem de sıcaklık dengelenmesi açısından aynı güvenliğe sahiptir.



Şekil 8. (a)  $F_c$ 'nin ölçülmesi için kater üzerinde gerinim ölçerlerin konumlanması ve (b) Wheatstone köprü devresi



Şekil 9. (a)  $F_f$ 'in ölçümünde gerinim ölçerlerin konumu ve (b) uygun Wheatstone köprü devresi



iii)  $F_r$ 'nin ölçülmesi

Katerde basma gerilmeleri oluşturan  $F_r$  kuvvetinin ölçümü için Şekil 10 a'daki gerinim ölçer yerleşimi ve Şekil 10 b'deki köprü devresi kullanılmıştır. 1 ve 3 no'lu gerinim ölçerler katerin boyundaki kısılmayı yani  $F_r$  kuvvetini algılamak için 2 ve 4 no'lu gerinim ölçerler köprüyü tamamlama görevi yapar.  $F_c$  kuvveti üstte yer alan 1 no'lu gerinim ölçerde uzamaya sebep olurken, altta yer alan 2 no'lu gerinim ölçerde aynı miktarda kısılmaya sebep olur ve iki zıt etki birbirini dengeler. Böylece  $F_c$  nin çapraz girişimi engellenmiş olur.  $F_r$  her iki aktif gerinim ölçeri (1 ve 3) pasif doğrultuda etkiler ve  $F_r$ 'nin okunmasında ihmal edilebilecek bir girişimde bulunur.

## 10. Yapıştırma İşlemi

Yapıştırma işleminde "cyanoacrylate" yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu yapıştırıcı ince bir tabaka oluşturarak "yavaşlatma etkisi"ni en aza indirmektedir. Deneylerde kater üzerindeki gerinmeler çok küçük olduğundan yapıştırma katmanının gevrekliğine bağlı çatlaması ve kırılması problemi yaşanmamıştır.

Kullanılan gerinim ölçerlerde ortaya çıkan bir problem düşük yüklemelerdeki algılama kararsızlığıdır. Gerinim ölçerler toplam gerinme kapasitelerinin ilk %2 lik kısmında tutarsız direnç değişikliği göstermektedir. Bunun ölçme işlemini etkilememesi için yapıştırma işlemi sonrasında gerinim ölçerler üzerinde yaklaşık %3 lük bir öngerilme kalması sağlanmıştır. Bunun için her kuvvet bileşenini ölçecek gerinim ölçer grubu yapıştırılırken kater üzerine kuvvet bileşenleriyle aynı doğrultuda ancak ters yönde bir ön yüklemeye yapılmış ve yapıştırıcı yeterince kuruyuncaya kadar

yüklemeye sabit tutulmuştur. Bu ön yük ölçümler sırasında veri toplayıcı (data logger) ünitesi tarafından elektronik olarak sıfırlanmıştır.

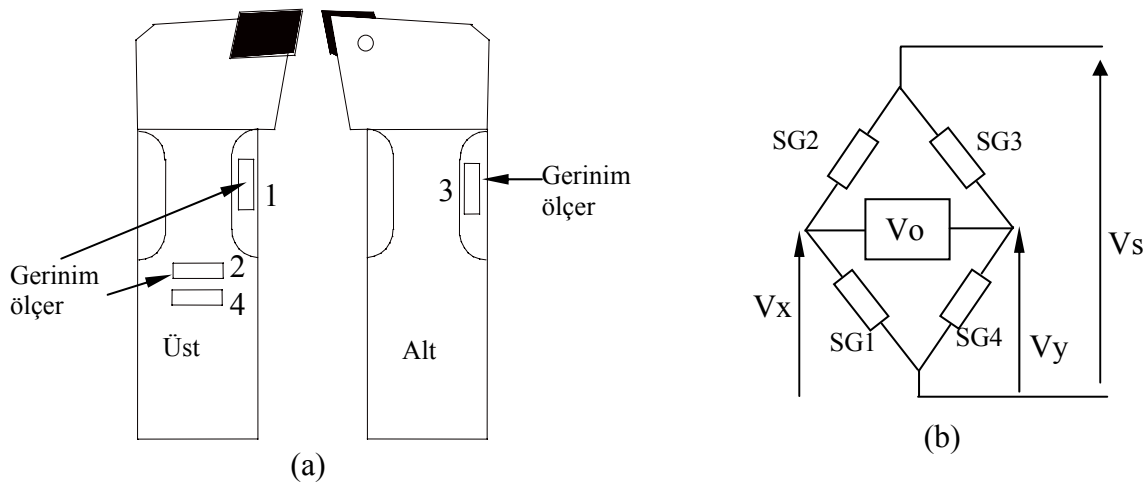
## 11. Veri Toplayıcı ile Gerilme/Gerinme Tespiti

Gerinim ölçerlerle oluşturulan köprülerden sinyal alınabilmesi için köprü girişleri sabit 3 V d.c. akımla beslenmiş, köprü çıkışları bir veri toplayıcının kanallarına bağlanmıştır.  $F_c$ ,  $F_r$  ve  $F_r$  'i ölçen köprüler sırasıyla veri toplayıcının 1, 2 ve 3 no'lu kanallarına bağlanarak üç ayrı kuvvet göstergesi (skala) oluşturulmuştur. Veri toplayıcı, kanalları saniyede bir kez taramakta ve seri port üzerinden bilgisayara Microsoft Excel dosyası olarak kaydetmektedir. Veri toplayıcı, katerde oluşan gerinmelere bağlı olarak köprü çıkış gerilimindeki değişimi V d.c. cinsinden 0.000001 V hassasiyetle ölçmektedir. Ancak devrenin çevreden algıladığı istenmeyen sinyal dalgalanmaları nedeniyle 0.0001 V 'luk bir hassasiyetle değerlendirme yapılabilmektedir.

## 12. Sonuçlar

## 12.1. Kalibrasyon

İlk kalibrasyon işlemi dinamometreye bilinen (kalibre) ağırlıkların uygulanmasıyla yapılmıştır. Bu işlemde kater, takım tutucuya bağlı iken yere paralel konuma getirilmiş ve kesici ucun temas noktasına ağırlıklar asılmıştır. Daha sonra yapılan bakım ve sıcaklık (mevsim) değişikliği nedeni kalibrasyon işlemlerinde yük hücresi kullanılmıştır. Bütün kalibrasyon işlemleri belli aralıklarla yükün artırılması ve aynı aralıklarla azaltılması yoluyla yapılmıştır.



Şekil 10. (a)  $F_r$ 'nin ölçümünde gerinim ölçerlerin konumu ve (b) uygun Wheatstone köprü devresi

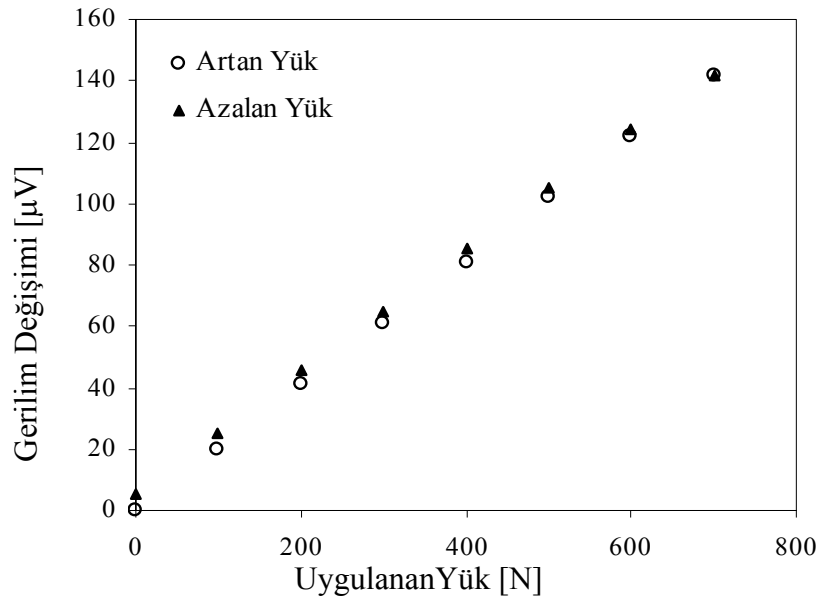


İlk kalibrasyona ilişkin ölçümler Tablo 1, 2 ve 3'te sunulmuştur. Her kuvvet bileşenini ölçen köprünün kalibrasyonu yapılırken, ona yapılan yüklemenin yüksüz durumdaki diğer skalalara etkisi (çapraz duyarlılık) olup olmadığına dikkat edilmiştir. Örneğin,  $F_c$  kuvvetini ölçen 1 no'lu skala kalibre

edilirken diğer skalalara yükleme yapılmamasına rağmen çıkış gerilimleri ölçülmüştür. Tablo 1, 2 ve 3'te ilk iki sütun (italik ve koyu yazılı) kalibre edilen skalaya ait bilgileri verirken, diğer sütunlardaki ölçümler yüklemesiz durumdaki skalalara ne derecede çapraz girişim olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 1.  $F_c$  kuvvetini ölçen 1 no'lu skalanın kalibrasyonu

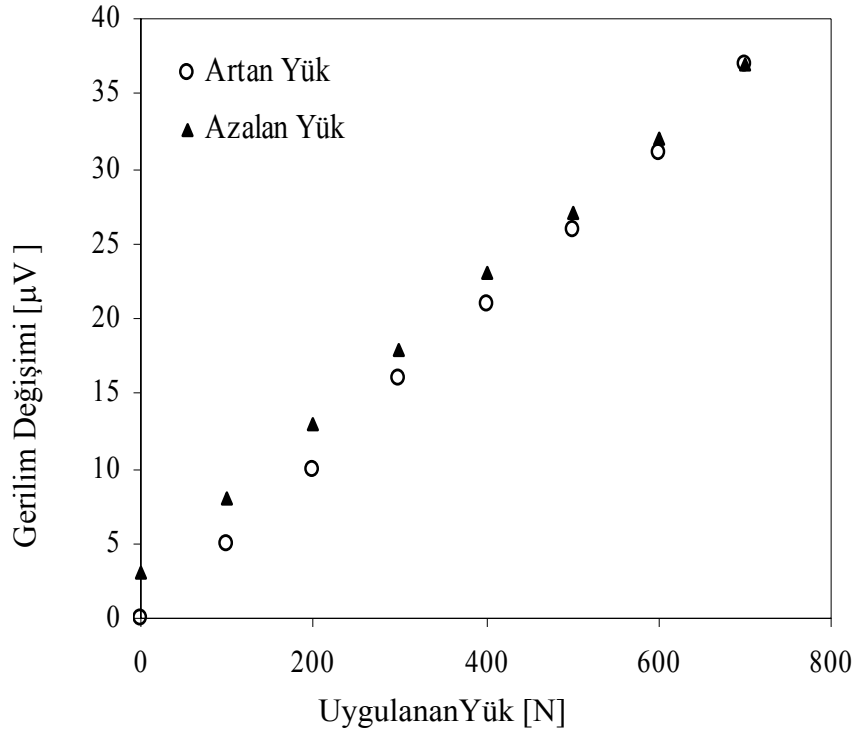
Yük [N]	1.Skala ( $F_c$ ) [ $\mu V$ ]	2. Skala ( $F_r$ ) [ $\mu V$ ]	2. Skalanın Çapraz Duyarlılığı %	3. Skala ( $F_r$ ) [ $\mu V$ ]	2. Skalanın Çapraz Duyarlılığı %
<b>0</b>	<b>0</b>	0	0	0	0
<b>100</b>	<b>20</b>	-1	-5	1	5
<b>200</b>	<b>41</b>	-2	-5	1	2
<b>300</b>	<b>61</b>	-3	-5	2	3
<b>400</b>	<b>81</b>	-3	-4	1	1
<b>500</b>	<b>102</b>	-3	-3	1	1
<b>600</b>	<b>122</b>	-3	-2	1	1
<b>700</b>	<b>142</b>	-4	-3	3	2
<b>700</b>	<b>142</b>	-4	-3	3	2
<b>600</b>	<b>124</b>	-3	-2	1	1
<b>500</b>	<b>105</b>	-3	-3	1	1
<b>400</b>	<b>85</b>	-3	-4	1	1
<b>300</b>	<b>65</b>	-3	-5	0	0
<b>200</b>	<b>46</b>	-2	-4	0	0
<b>100</b>	<b>25</b>	-1	-4	0	0
<b>0</b>	<b>5</b>	-1	-20	1	20



Şekil 11.  $F_c$  kuvvetini ölçen 1 no'lu skalanın artan ve azalan yüklerle kalibrasyonu

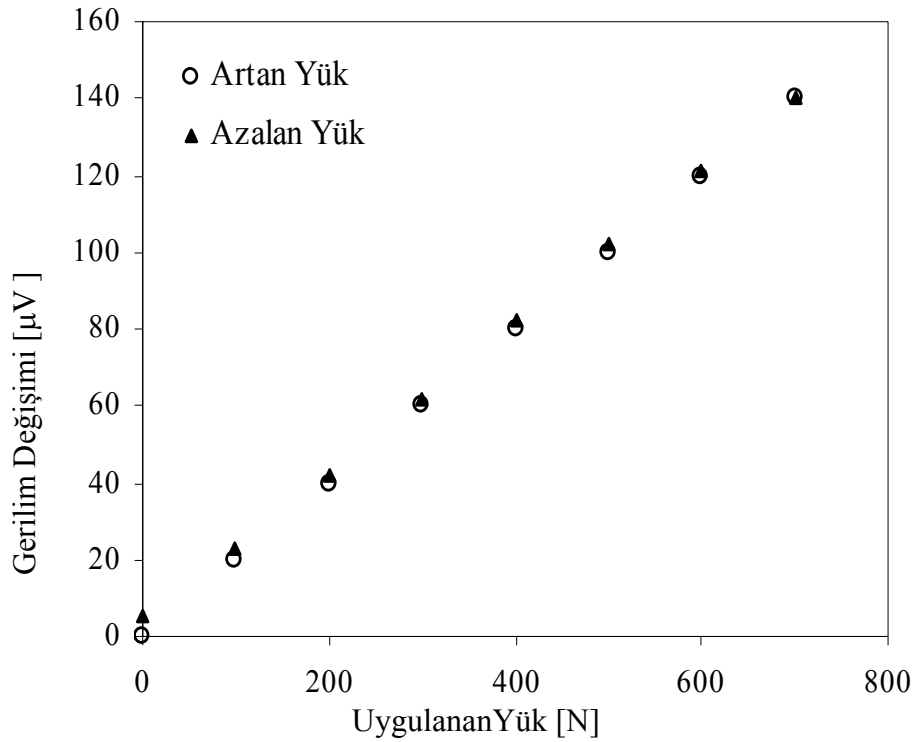
Tablo 2.  $F_r$  kuvvetini ölçen 2 no'lu skalanın kalibrasyonu

Yük [N]	2.Skala ( $F_r$ ) [ $\mu$ V]	1. Skala ( $F_c$ ) [ $\mu$ V]	Çapraz Duyarlılık %	3. Skala ( $F_r$ ) [ $\mu$ V]	Çapraz Duyarlılık %
0	0	0	0	0	0
100	5	0	0	0	0
200	10	0	0	0	0
300	16	-1	-6	1	6
400	21	-1	-5	1	5
500	26	-2	-8	1	4
600	31	-2	-6	2	6
700	37	-2	-5	2	5
700	37	-2	-5	2	5
600	32	-2	-6	2	6
500	27	-2	-7	1	4
400	23	-1	-4	1	4
300	18	-1	-6	1	6
200	13	-1	-8	0	0
100	8	-1	-13	0	0
0	3	-1	0	0	0

Şekil 12.  $F_r$  kuvvetini ölçen 2 no'lu skalanın artan ve azalan yüklerle kalibrasyonu

Tablo 3.  $F_f$  kuvvetini ölçen 3 no'lu skalanın kalibrasyonu

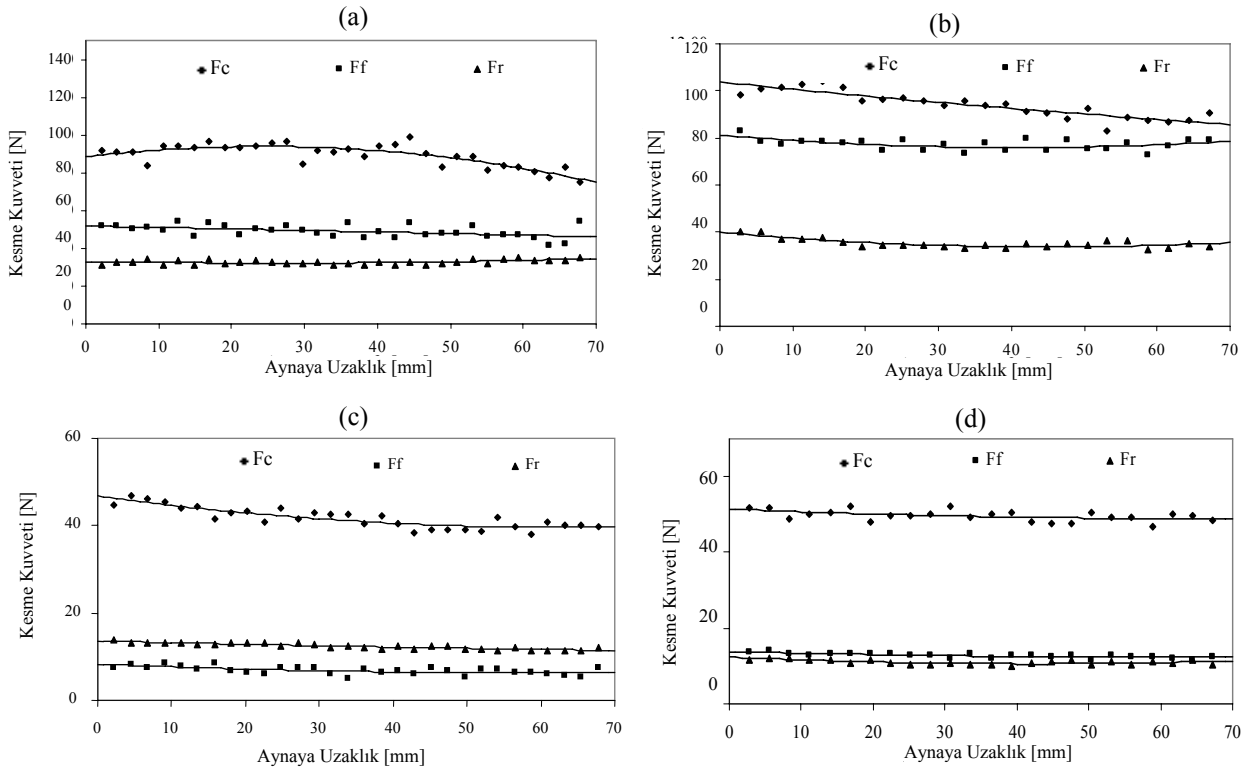
Yük [kg]	3.Skala ( $F_f$ ) [ $\mu$ V]	1. Skala ( $F_c$ ) [ $\mu$ V]	Çapraz Duyarlılık %	3. Skala ( $F_f$ ) [ $\mu$ V]	Çapraz Duyarlılık %
0	0	0	0	0	0
100	20	0	0	0	0
200	40	0	0	0	0
300	60	0	0	1	2
400	80	-1	-1	1	1
500	100	-1	-1	1	1
600	120	-1	-1	2	2
700	140	-2	-1	2	1
700	140	-2	-1	2	1
600	121	-1	-1	2	2
500	102	-1	-1	1	1
400	82	-1	-1	1	1
300	62	0	0	1	2
200	42	0	0	0	0
100	23	0	0	0	0
0	5	0	0	0	0

Şekil 13.  $F_f$  kuvvetini ölçen 3 no'lu skalanın artan ve azalan yüklerle kalibrasyonu

Bir ölçme sisteminin kalibrasyon işleminde artan ve azalan yüklemelere ait sonuçların mümkün olduğunca çakışık olması istenir. Bu dinamometrede  $F_c$  ve  $F_f$ 'i ölçen skalaların bu koşulu tamamen,  $F_r$ 'yi ölçen skalanın ise kabul edilebilir seviyede sağladığı görülmektedir (Şekil 11, 12 ve 13). Çapraz duyarlılıklar ise çalışılan ölçme aralıklarında % 5-6 civarında kalmıştır. Dinamometrenin teorik ölçme hassasiyeti 0.005 N (veri toplayıcının gerilim ölçme hassasiyeti 0.000001 V) olmakla birlikte gerilim dalgalanmaları sebebiyle 0.5 N'a kadar ölçme yapılabilmektedir.

## 12.2. Kuvvet Ölçme

Şekil 14'de kesme kuvvetlerinin aynaya uzaklığa bağlı değişimini gösteren deneylerden bazı örnekler görülmektedir. Serbest uç tarafında iş parçasının esneme sebebiyle takımdan uzaklaşmasının sonucunda gerçek paso derinliği bir miktar azalır. Grafikler incelendiğinde aynadan uzaklaştıkça  $F_c$  kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Diğer kuvvet bileşenleri olan  $F_f$  ve  $F_r$  aynaya uzaklıkla belirgin bir değişim göstermemişlerdir.



Şekil 14. Kesme kuvvetlerinin aynaya uzaklığa bağlı değişimine örnekler (a)  $V= 94.2$  m/dak,  $a=1$  mm,  $f=0.1$  mm/dev, (b)  $V= 117.8$  m/dak,  $a=1$  mm,  $f=0.1$  mm/dev, (c)  $V= 94.2$  m/dak,  $a=0.5$  mm,  $f=0.1$  mm/dev, (d)  $V= 117.8$  m/dak,  $a=0.5$  mm,  $f=0.1$  mm/dev

## 13. Değerlendirme

Bu çalışma sonucunda tornalama işleminde kesici takıma gelen kuvvetleri duyarlı şekilde ölçen ve bilgisayar ortamına kaydeden bir dinamometre tasarımı ve imalatı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Dinamometre kesme kuvvetlerini 0.5 N luk bir çözünürlükle ölçebilmektedir. Çalışılan

aralıklardaki çapraz duyarlılığı %5-6 seviyelerindedir. Yapıştırma işlemi sırasında uygulanan ters yönlü önyükleme ve buna bağlı olarak gerilme ölçerler üzerinde oluşturulan öngerilme nedeniyle bu tür sistemlerin düşük yüklerde gösterdiği kararsızlık giderilmiş ve 5 N seviyesinden sonraki ölçümlerde yüksek duyarlılık yakalanmıştır.

**KAYNAKLAR**

1. Topal E.S., BSD Tornalamada Kesme Kuvveti Esaslı İşleme Hatasının İncelenmesi ve Bilgisayar Desteğiyle Düzeltilmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2003
2. Turgut Y., Korkut İ., Talaşlı İmalatta Kesme Kuvveti Ölçme Sistemleri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye 13-15 Mayıs 2009,
3. Jeong Y.H., Cho D.W., Estimating Cutting Force From Rotating and Stationary Feed Motor Currents on a Milling Machine, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, 1559–1566, 2002.
4. Sağlam H., Ünüvar A., Three-Components, Strain Gage Based Milling Dynamometer Design and Manufacturing", Trans. of The SDPS J. Integrated Design and Process Science, Vol. 5, No.2, pp. 95-109, 2001
5. Kaçal A., ve ark., Azdırma Yöntemi İle Dişli Çark Açma İşleminde Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Sistem Tasarımı Ve İmalatı, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 4, 795-800, 2008
6. Yang, S., et al., Real-time Cutting Force Induced Error Compensation on a Turning Center, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 37 (11), 1597–1610, 1997
7. Shigley, J. E., Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill 1st edition, Singapore, 1986
8. Parr, E. A., Endüstriyel Kontrol El Kitabı Cilt I Transduserler, Çev: Bereketlioğlu, E., Milli Eğitim Basımevi, İkinci Baskı, İstanbul, 1997
9. Parr, E. A., Endüstriyel Kontrol El Kitabı Cilt II Teknikler, Çev: Bereketlioğlu, E., Milli Eğitim Basımevi, İkinci Baskı, İstanbul, 1997
10. Kenkyujo T. S. Co, Strain Gauges, Product Catalogue, Tokyo, 1999