

# Tekerlek Düşey Salınımlarını Ölçebilen Cihaz Tasarımı ve İmali

Atilla KOCA\*, M. Akif KUNT\*\*, Ali KESKİN\*\*\*

\*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

\*\*Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Programı  
43300 Tavşanlı- KÜTAHYA

\*\*\*Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi  
Makine Eğitimi Bölümü  
Tarsus, MERSİN

## ÖZET

Bu çalışmada; hareket halinde bulunan tekerleklerin dinamik yarıçapını ölçmeye yönelik bir düzenek tasarlanmıştır. LVDT (Doğrusal Değişimli Diferansiyel Transformatör) esasına dayanan bu cihaz, laboratuvar şartlarında uygun deney koşullarında bir otomobil tekerleğinin dinamik yarıçapının ölçülmesinde kullanılmıştır. Yapılan testlerde farklı iki tekerleğin dinamik yarıçapları incelenmiştir. Bu düzeneğin, ölçme aralığı 6 mm ve ölçme hassasiyeti  $10^{-2}$  mm olarak karakteristiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** LVDT, tekerlek dinamik yarıçapı,

## Design and Manufacturing of a Device to Measure Dynamic Radius of Wheels

### ABSTRACT

In this work; a device to measure the dynamic radius of the wheel was designed. The instrument which is based on LVDT(Linear Variable Differential Transformator) principle was tested to measure dynamic radius of an automobile wheel at the laboratory condition. The dynamic radius of different wheels were also tested and investigated. This device's measuring capacity of 6 mm and it's accuracy of  $10^{-2}$  mm was determined.

**Key words :** LVDT, wheel dynamic radius

### 1. GİRİŞ

Hareket halindeki tekerleğin düşey salınımlarının belirlenmesi konusunda çeşitli ölçüm yöntemleri kullanılabilmektedir. Tekerleğin düşey salınım davranışı taşıt dinamometresi üzerinde mekanik bir ölçme düzeneğiyle ölçülebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, aynı aks yükseklğine sahip üç farklı taşıt, dinamometre üzerinde, değişik tekerlek hızları ve hava basınçlarında mekanik bir ölçme düzeneğiyle test edilerek tekerlek dinamik yarıçapında meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir (1).

Konu ile ilgili ölçme yöntemlerinden ilki elektriksel direnç yöntemidir. Tekerleğin merkezi ile irtibatlandırılan bir kayma telinin algılayıcı direnç üzerinde hareket etmesi esasına dayanmaktadır. Algılayıcı tel üzerinde kayma telinin hareketi bir gerilim değişimi meydana getirir. Tele uygulanan toplam gerilim ve toplam tel uzunluğu sabit tutularak, algılayıcı tel üzerinde kayma telinin hareket miktarına bağlı olarak değişen çıkış gerilimi ölçülür. Bu türden algılama sistemleri ucuz olmakla birlikte, değme noktasının telde tutukluk yap-

ması, meydana gelen temasın gürültüye neden olması, konum değişiminin logaritmik, sinüs, cosinüs ve diğer dizilere bağlı olarak değişmesi sistemin mahsurlarıdır (2).

Düşey salınım hareketinin belirlenmesine yönelik bir diğer ölçme yöntemi de optik konum algılanmasıdır. Kesiti boyunca eş yoğunluğa sahip bir ışın, birbirine seri olarak bağlanmış, fotoseller üzerine eşit olarak düşürüldüğünde, fark esasına göre çıkış gerilimi sıfır olmaktadır. Fotosellerin üzerine düşen ışın miktarının tekerlek merkezine yerleştirilen salgısız bir çubuk tarafından değiştirilmesiyle çıkış gerilimi değişir. Fotosel üzerine düşen ışının yoğunluğunun sabit tutulma gerekliliği ve çıkış gerilimlerinin logaritmik, olması sistemin kusurlarıdır (3).

Düşey salınımların ölçülmesinde kullanılacak ölçme cihazının çıkış sinyallerinin doğrusal olarak elde edilmesi son derece önemlidir (4). Genel olarak -çok özel kullanımlar dışında- ölçme doğruluğu yüksek ve maliyeti düşük ölçme cihazlarının kullanımı yaygındır. Bu çalışmada kullanılan ölçme cihazının seçiminde, belirtilen faktörler göz önünde bulundurulmuştur.

Hareket halindeki düşey salınımı ölçmek amacıyla yapılan bu çalışmada, karşılıklı endüktans esasına göre çalışan doğrusal değişkenli bir transformere oluşturulmuştur. Bu algılayıcının büyüklük bakımından pek çok çeşidinin yapılabilmesi, 0.003 mm 'den 500 mm 'ye kadar çok geniş bir ölçüm aralığında çalışabilmesi, sıfıra yakın bir sürtünme sağlayabilmesi, tekrarlı ölçmelerde çok iyi sonuçlar verebilmesi, güç kaybının az olması gibi pek çok avantajları bulunmaktadır (5). LVDT çok küçük boyutlu da yapılabilmektedir. Ağırlığı azdır, aşırı titreşimlerden kolay kolay bozulmaz, ayarlanması ve bakımı kolay kararlı bir ölçme cihazıdır (6).

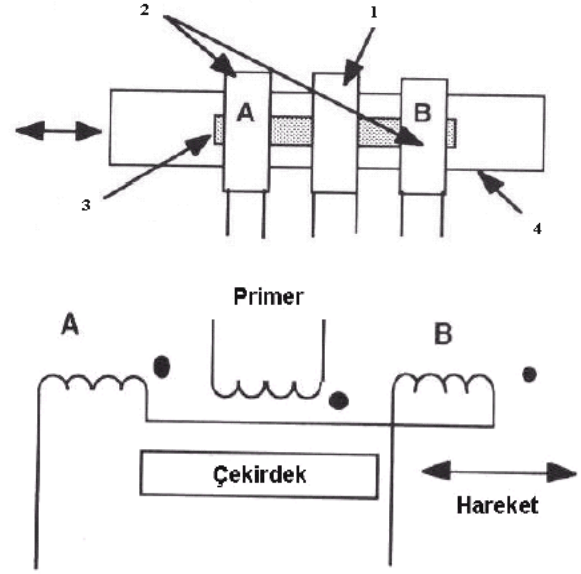
Rijit bir zemin üzerinde lastik davranışlarını inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Tekerleğin dinamik halde zemin ile meydana getirdiği tutunma ve çeki kuvveti davranışının önceden belirlenebilmesi, otomobil ve lastik üreticileri için büyük önem taşımaktadır. Taşıt özelliklerine göre uygun lastiğin seçilebilmesi, üretilebilmesi amacıyla hassasiyeti yüksek ölçme cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan bu çalışmada doğrusal değişken endüktanslı bir transdüser (LVDT) tasarlanarak imal edilmiş ve tasarlanan düzenek yardımıyla aynı ebatla, farklı yük ve hız özelliklerine sahip iki lastiğin sabit yük, değişken hız koşullarında düşey salınım miktarları ölçülmüş, ölçülen değerler grafikler halinde gösterilmiştir.

### 1.1 Doğrusal değişken endüktanslı transdüser (LVDT)

Doğrusal değişken endüktanslı transdüser bir pasif eleman olup, bir diferansiyel transformatördür. Pasif elemanlar, enerji kaynağı olmayan, ancak gerilim uygulandığında geçen akımın sonucu olarak enerji harcayan ve depolayan elemanlardır. Şekil 1.1'de gösterildiği gibi boş bir tüpün üzerine iki sekonder bobin ile bunların arasına bir primer bobin yerleştirilerek (LVDT) meydana getirilmiştir. Tüp içine sokulan demir göbek ile primer ve sekonder arasındaki magnetik kuplaj değiştirilir. Demir göbek tam ortada olduğunda, iki sekonderde endüklenen gerilimler birbirlerine eşit olur. Demir göbeğin merkezden uzaklaşması ile bir bobindeki gerilim artarken, diğer bobindeki gerilim azalır. Merkezin diğer yönündeki hareket ile bobindeki gerilim değişimi ters yönde olur. Demir göbeğin küçük bir değişimine karşılık LVDT 'nin çıkışında büyük bir gerilim elde edilir (7). Tüp içerisindeki göbeğin, geçirgenliği yüksek yumuşak demir malzemenin yapılması salınımları azaltmakta ve yüksek duyarlılık elde edilmesini sağlamaktadır (8). Sargı uçları elektrostatik ve elektromagnetik yönden izole edilmiştir. Primere uygulanan AC frekansı 50 Hz olarak seçilmiştir.

Bu çalışmanın odak noktasını, bir nüvenin bobin içerisindeki hareketi sonucunda değişen sekonder devre gerilimini okumak oluşturmıştır.



Şekil 1. Doğrusal değişimli diferansiyel transformatörün kısımları

- 1- Primer sargı 2. Sekonder sargılar  
3. Manyetik çekirdek 4. Sargı taşıyıcı

Manyetik alan içinde bulunan bir bobin üzerinde indüklenen gerilim:

$$Ee = 4,44 \cdot B \cdot S \cdot f \cdot N \cdot 10^{-8} \quad (1.1)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada; B, 1 cm<sup>2</sup> ye düşen manyetik akı yoğunluğudur (Gaus). Manyetik akı yoğunluğu kullanılan nüvenin cinsine bağlı olarak 1000 ile 16000 Gaus arasında değişir. Bu çalışmada manyetik akı yoğunluğu 2000 olan bir nüve kullanılmıştır.

Bu formülde volt başına sarım sayısı;

$$\frac{N}{Ee} = n = \frac{10^8}{4,44 \cdot B \cdot S \cdot f} \quad (1.2)$$

olarak ifade edildiğinde ve çalışmada kullanılan nüve için; B= 2000 ve f=50 Hz olduğuna göre;

$$n = 225 \text{ sarım bulunmuştur.}$$

$$\text{Primer sarım sayısı; } N_p = E_p \cdot n \quad (1.3)$$

$$N_p = E_p \cdot n = 24 \cdot 225 = 5400$$

sarım bulunmuştur.

Çalışmada yapılan transformatörden fazla akım çekilmeyeceği ve yük altında çalıştırılmayacağı için, ayrıca fazla yer kaplamaması amacıyla, 0.1 mm çapında emaye tel seçilmiştir.

Sekonder sarım sayısı hesaplanırken, primer ile sekonderin üst üste sarılması durumunda %10, yana sarılması durumunda ise %20 ilave yapılması gereklidir.

Sekonder sarım sayısı;

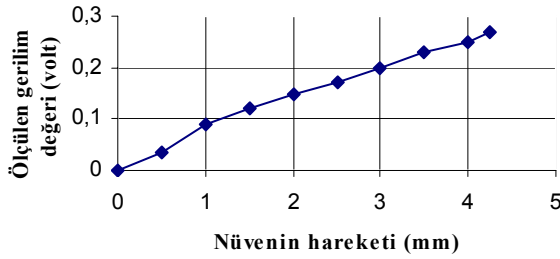
$$N_s = N_p + \frac{N_p \cdot 20}{100} = 6480 \text{ sarım bulun-}$$

muştur.



Şekil 2. Doğrusal değişimli diferansiyel transformatör

Kullanılan LVDT düşey durumda iken, demir nüve bir mikrometre yardımı ile yukarı doğru hareket ettirilerek sekonder gerilim ölçülmüştür. Cihazın laboratuvar şartlarında belirlenmiş mesafe değişimi – gerilim grafiği Şekil 3’te verilmiştir. Deneysel olarak oluşturulan grafiğin referans denklemi SPSS modelleme programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklem kullanılarak okunan gerilim değerine göre tahmini mesafe değeri elde edilmiştir. Referans deney grafiğinin denklemi regresyon sonucunda aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3. Ölçülen gerilim değerinin nüve hareketi ile değişimi

Yer değiştirme miktarı =

$$-0,009 + (4,6922 * E) + (83,3763 * E^2) - (156,28 * E^3)$$

Ölçme yapılırken bir veya iki parametre arasındaki ilişkiler söz konusu olmaktadır. Nüvenin mesafe değişimine bağlı olarak LVDT ‘de meydana gelen gerilim değişimi regresyon sonucu oluşturulan denklem ile bulunabilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişki en küçük kareler tahmini ile bulunmuştur. Değişkenler arasındaki ilişkinin doğruluğu korelasyon katsayısına (R) ve hata yüzdesine bağlıdır. Basit korelasyon iki değişken arasındaki ilişkinin derecesinin tespitinde kullanılır. Korelasyon katsayısı, iki değişkenin değişimlerinde ne dereceye kadar uygunluk olduğunu belirler. Korelasyon katsayısı  $\pm 1$ ’e yaklaştıkça ilişkinin kuvvetlendiği, sıfıra yaklaştıkça zayıfladığı anlaşılmaktadır (9).

Çizelge 2.1. Deney Lastiklerine Ait Profil Özellikleri ve Dış Derinlikleri

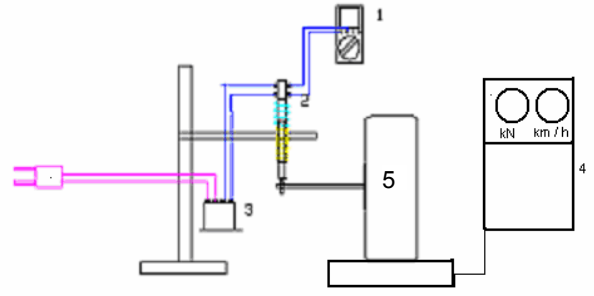
Deney lastiği	Yük İndeksi	Hız işareti	Dış Derinliği (mm)	Jant Kodu
1	86 (530 kg)	H (210 km / h)	6.15	5
2	84 (500 kg)	T (190 km / h)	7.50	5

Yapılan referans deneyin korelasyon katsayısı 0.991 olarak bulunmuştur. Bulunan korelasyon katsayı değerinin pozitif olması sebebiyle doğrunun eğimi de pozitifdir. Değerin 1’ e yakın olması, mesafe değişimi ile

ölçülen gerilim değeri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yüzde tahmini ( $R^2$ ) değeri ise 0,982 olarak bulunmuştur. Mesafe değişimi ile ölçülen gerilim arasında % 98,2 oranında bir doğrusallık bulunmaktadır. Mikrometre ile yapılan kontrolde ölçme hassasiyeti  $10^{-2}$  olarak belirlenmiştir.

## 1.2. Değişken Endüktanslı Transdüserin Sistem Üzerinde Denenmesi

Dinamik yarıçap ölçümü için gerçekleştirilen deneylerde güç kaynağı, şasi dinamometresi, binek tipi bir otomobil, LVDT ve Avometreden meydana getirilmiş bir ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneğinin görünümü Şekil 4’ de verilmiştir.



Şekil 4. LVDT, Avometre ve güç kaynağından oluşan ölçüm düzeneği

1.Avometre 2. LVDT 3. Güç kaynağı 4. Şasi dinamometresi 5. Tekerlek

Yapılan deneylerde DT832 digital multimeter avometre kullanılmıştır. Ölçme skalası olarak ACV 200 kademesi seçilmiştir. Kullanılan avometre Şekil 4’ de görüldüğü gibi LVDT’ ye bağlanmıştır.

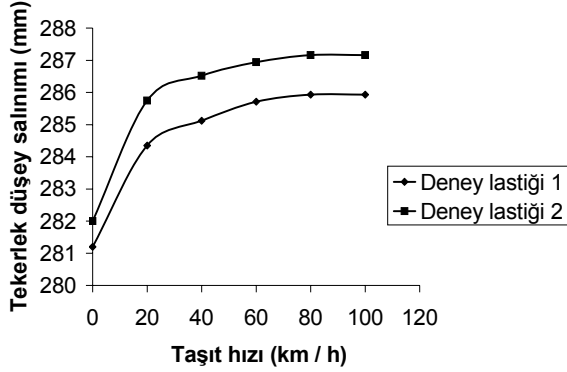
## 2. DENEY SONUCU ve DEĞERLENDİRME

Her iki lastik katalog değeri olan 30 psi hava basıncı ile şişirilmiştir. Tekerlekler taşıt dinamometresi üzerinde iken, zemin ile tekerlek merkezi arasındaki mesafe deney lastiği 1 için 281,2 mm, deney lastiği 2 için 282mm ölçülmüştür.

LVDT, Avometre ve güç kaynağından oluşan ölçme düzeneği kullanılarak 5 farklı hız ölçüm noktasında tekerlek merkezinin yatay düzleme göre mesafe değişimi ölçülmüştür. Deney hız noktaları

olarak taşıtın genelde vites değişim hızları olarak kabul edilen 20 – 40 – 60 - 80 – 100 km/h taşıt hızları seçilmiştir. Deney yapılan lastikler ile ilgili teknik detaylar Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

LVDT, dijital avometre ve şasi dinamometresi kullanılarak oluşturulan ölçme düzeneği ile yapılan düşey salınım ölçümleri sonucunda sabit yük (sürücü + 4 yolcu), değişken hız koşullarında aynı ebatla farklı yük taşıma ve maksimum hız kapasitelerine sahip iki lastiğin düşey salınım hareketlerinin taşıt hızı ile değişimi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 5. Sabit yük, değişken hız şartlarında taşıt hızına göre tekerlek düşey salınımının değişimi

5’de tekerlek düşey salınımının taşıt hızı ile arttığı ve tekerlek salınımında 60 km/h hızdan sonra önemli bir değişme olmadığı görülmektedir. Bu durum tekerlek yarıçap değişiminin ölçülmesi konusunda yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Mesafe değişimi ile ölçülen gerilim arasında % 98.2 oranında bir lineerlik bulunmaktadır. Mikrometre ile yapılan kontrollerde ölçme hassasiyeti yaklaşık  $10^{-2}$  olarak belirlenmiştir.

Test sonuçlarından elde edilen bulgular, tekerlekteki yarıçap artışının 60 km/h hızdan sonra önemli bir değişme göstermediğini ortaya koymuştur. Bu durum tekerlek yarıçap değişiminin ölçülmesi konusunda yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Boyut ölçümlerinde klasik yöntemlerle hatalı ölçümler yapılabilmektedir. Uzama, bası vb. yer değiştirme ölçümlerinde de benzer ölçme hataları meydana gelebilmektedir. Klasik ölçü aletleri ile döner haldeki bir cismin merkezindeki yer değişimini ölçmek ise son derece zordur. Sözü edilen tüm zorlukların yanı sıra,

yüksek doğrulukta ölçme kabiliyetine sahip bir ölçme cihazının ekonomik olarak imal edilmesi de önemli görülmektedir.

Yapılan bu deneysel çalışmada; hareket halinde bulunan taşıtın tekerleklerinin düşey salınım hareketlerini ölçmeye yönelik bir düzener tasarlanmıştır. Bu düzenerin ölçme aralığı 6 mm ve ölçme hassasiyeti yaklaşık  $10^{-2}$  mm olarak karakteristiği belirlenmiştir. LVDT (Lineer Değişimli Diferansiyel Transformatörü) esasına dayanan bu cihaz, laboratuvar şartlarında uygun deney koşullarında bir otomobil tekerleğinin dinamik yarıçapının ölçülmesinde kullanılmıştır.

Daha büyük düşey salınım ölçümleri için aynı yöntemle LVDT’nin sarım sayıları, sarım oranları, primere uygulanan gerilim değerleri ve demir nüvenin kursu gibi çeşitli parametreleri değiştirilerek yeni tasarımlar yapılabilir.

### KAYNAKLAR

1. Koca, A., “Tekerleklerde Dinamik Yarıçap Değişiminin Çeki Kuvvetine Etkisi”, Journal of the Institute of Science and Technology, Gazi University, 14 (12): 249-259, 2001.
2. Noltingk, B. E., “Cihaz Teknolojisi”, Taşlıca A.O., Milli Eğitim Basımevi, Ankara, 1994.
3. Sydenham, P. H., “Handbook of Measurement Science: Practical Fundamentals”, John Wiley, New York, U.S.A., 1983.
4. Nacar, M., “Temel Elektronik”, Color Ofset, İskenderun, 2002.
5. Pastacı, Halit, “Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri”, Nesil Matbaacılık, İstanbul, 2003.
6. Gregory, B. A., “An Introduction to Electrical Instrumentation and Measurement Systems”, MacMillan Education Ltd., London, 1981.
7. Kunt, M.A., “Lastiklerde Dinamik Yarıçap Değişiminin Çeki Kuvvetine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, Gazi üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
8. Helfrick, A. D., Cooper W. D., “Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques”, Prentice – Hall International Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1980.
9. Serper, Ö., “Uygulamalı İstatistik 2”, Filiz Kitabevi, İstanbul, (1986).