

MEKANİK GERİLMELERİN MANYETİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN SENSÖR OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Mustafa GÖKTEPE¹, Ali ORAL², Deniz PERİN³

¹goktepe@balikesir.edu.tr, Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 10145 Balıkesir

²alioral@balikesir.edu.tr, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, 10145 Balıkesir

³dnzprn@gmail.com, Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 10145 Balıkesir

ÖZET

Bu çalışma çerçevesinde ferromanyetik malzemeler içerisinde dış etkenlere bağlı olarak oluşan gerilmelerin söz konusu malzemenin manyetik özelliklerine olan etkileri tartışılmıştır. Bu şekilde bir dış etkiye bağlı olarak malzeme içerisinde oluşan gerilmelerin ortaya çıkardığı etkiler çevremizde olan olayları algılamamıza nasıl yardımcı olacağı incelenerek bu etkilerin bir sensör olarak kullanımı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sensör, Hall sensör, Bobin sensör, MR sensör

ABSTRACT

It is very important to understand the magnetic characterization of ferromagnetic materials due to variation of the internal stress in the sample. Somehow occurred internal stress in the sample could be useful tools to sense our environment during the sensing progress. In this study, the variation of environmental characterizations due to internal stress was investigated as a sensor application.

Key words: Sensor, Hall sensor, Coil sensor, MR sensor

1. GİRİŞ

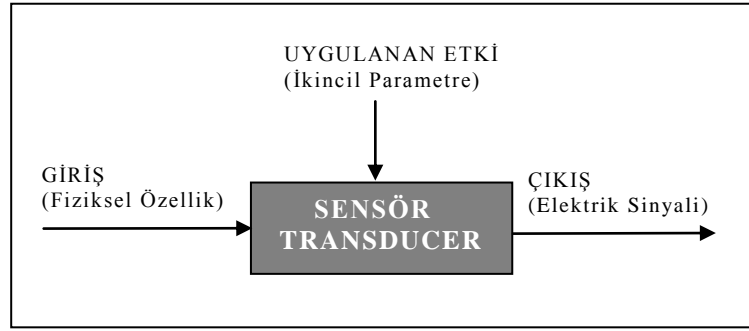
Günümüzde kullanılan yüksek teknoloji ürünler sayesinde çevremizi algılamak çok önemli hale gelmiştir. Bu aşamada sensörler, transducerler ve bunların değişik uygulamalarda kullanılması oldukça popülerleşmiş olup günümüz insanı çevresinde olup bitenleri oturduğu sandalyesinde otomatik olarak algılamak istemektedir.

Bu çalışmada bir sensörün yada transducerin genel tanımı yapıldıktan sonra mekanik gerilmelerin manyetik özelliklere etkileri ve bu etkilerin sensör veya transducer olarak kullanılabilirliğinin nasıl olacağı tartışılacaktır.

2. SENSÖRLER VE TRANSDUCERLER

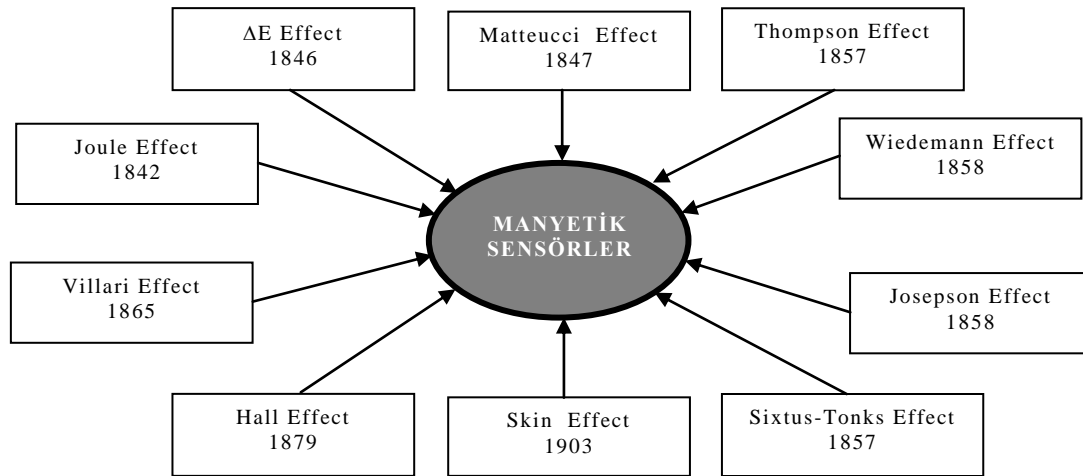
Sensörlerin ve transducerlerin en tipik özelliği bir etki altında kaldıklarında enerjiyi bir yolla bir sistemden diğerine dönüştürmeleridir. O halde bir dış etken nedeniyle sensöre yapılan bir input sensörün diğer ucundan bir çıkış sinyali vermektedir (Şekil 1) . Öyleki bu etki manyetik sensör ve transducerlerin en temel çalışma prensibini oluşturmaktadır.

Manyetik sensörlerin geliştirilmesinde kullanılan fiziksel etkiler konusundaki araştırmalar yaklaşık 120 yıldan beri devam etmektedir. İlk olarak 1842 yılında Joule effect bulunmuş olup takiben 1846 yılında ΔE effect bulunmuştur.



Şekil 1. Sensör veya transducerin şematik blok diyagramı [1]

Daha sonraki yıllarda Şekil 2 den sırasıyla görüleceği üzere 1847 de Matteucci effect, 1857 de Thompson effect (Magneto resistance effect), 1858 de Wiedemann effect, 1865 de Villari effect, 1879 da Hall effect, 1903 de Skin effect, 1931 de Sixtus-Tonks effect ve 1962 de Josepson effect keşfedilmiştir. Yapılan bu çalışmalarla değişik sensörler kullanılarak çevremizde olup bitenleri daha duyarlı ve az hata ile algılayabilecek sistemler geliştirilmeye başlanmıştır.



Şekil 2. Keşfedildikleri yıl sırasıyla manyetik sensör olarak kullanılabilen fiziksel etkiler [1].

Burada kronolojik sırada verilen fiziksel etkileri elektromanyetik sistemler, malzemenin fiziksel özelliklerine olan manyetik alan etkisi (galvanometrik etkiler), gerilmelerin malzemenin manyetik özelliklere olan etkileri (manyeto- elastik etkiler), superconductivity olmak üzere dört temel kategoride sınıflandırabiliriz.

3. MANYETOELASTİK SENSÖRLER:

Manyetoelastik sistemler Şekil 3. de görüldüğü gibi en temel manyetik sensörler grubunu oluşturmaktadır. Bu gruptaki sensörlerin çalışma prensibi Faraday'ın indüksiyon yasasına göre kapalı bir manyetik devrede primer manyetizasyon bobini veya bir mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik akının ($N\Phi$) zaman içindeki

$$V = \frac{-d(N\Phi)}{dt} \quad (1)$$

değişiminin sekonder bobin üzerinde indüklediği sinyalin okunması prensibine dayanmaktadır. Bu prensibin kullanıldığı sistemlerde üretilen manyetik akı zaman içinde periyodik olarak değişmektedir bu nedenle $\frac{dB}{dt} \neq 0$ olmaktadır. Diğer yandan elektromanyetik sistemlerde manyetizasyonun zaman içinde

periyodik olarak yön değiştirmesi devre içerisinde manyetik akının değişimine neden olmaktadır. Genel olarak elektromanyetik sistemlerde primer manyetizasyon bobininin sinusoidal manyetizasyon akımı ile beslenmesi sonucunda sinusoidal manyetik akı üretilir. Sekonder bobinin (searc coil) sarmış olduğu alandan geçen manyetik akının bobin üzerinde indüklediği sinyal bir voltmetre ile ölçülerek (2) ve (3)

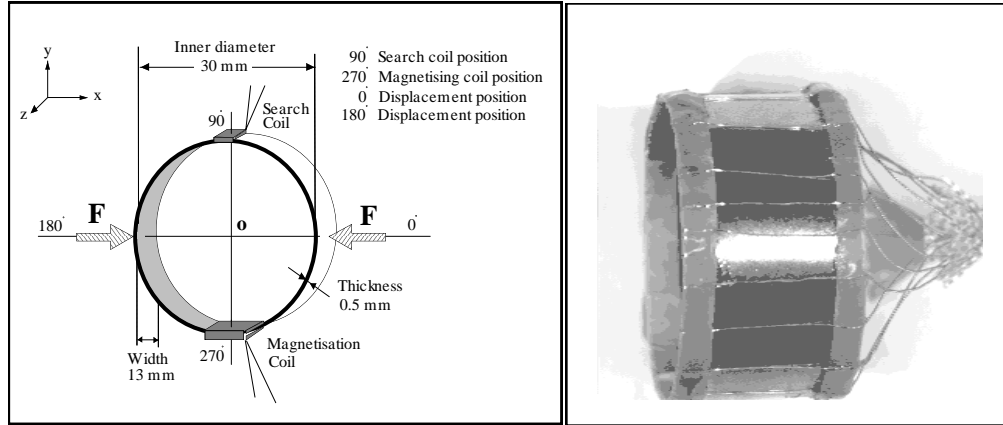
$$V_{avr} = 4.44\hat{B}AN_2f \quad (\text{Volt}) \quad (2)$$

$$\hat{B} = \frac{V_{avr}}{4.44AN_2f} \quad (\text{Tesla}) \quad (3)$$

bağıntıları gözönüne alınarak sitemdeki manyetizasyon Tesla cinsinden hesaplanabilir. Bu ifadelerde \hat{B} manyetik akının tepe değeri olup birimi *Tesla* dir. A , sekonder bobinin sarmış olduğu kesit alan olup birimi m^2 dir, N_2 ise sekonder bobinin sarım sayısıdır, f manyetizasyon akımının frekansı olup birimi Hz dir. Son olarak V sekonder bobin üzerinde indüklenen sinyal olup ortalama değer okuyan bir voltmetre ile ölçülür, birimi *Volt* dur. Burada ayrıca primer bobin üzerinden geçen manyetizasyon akımı küçük bir R güç direnci üzerinden geçirilerek direnç üzerindeki gerilim düşmesi paralel bağlı bir true rsm ölçme özelliği olan voltmetre ile ölçülür.

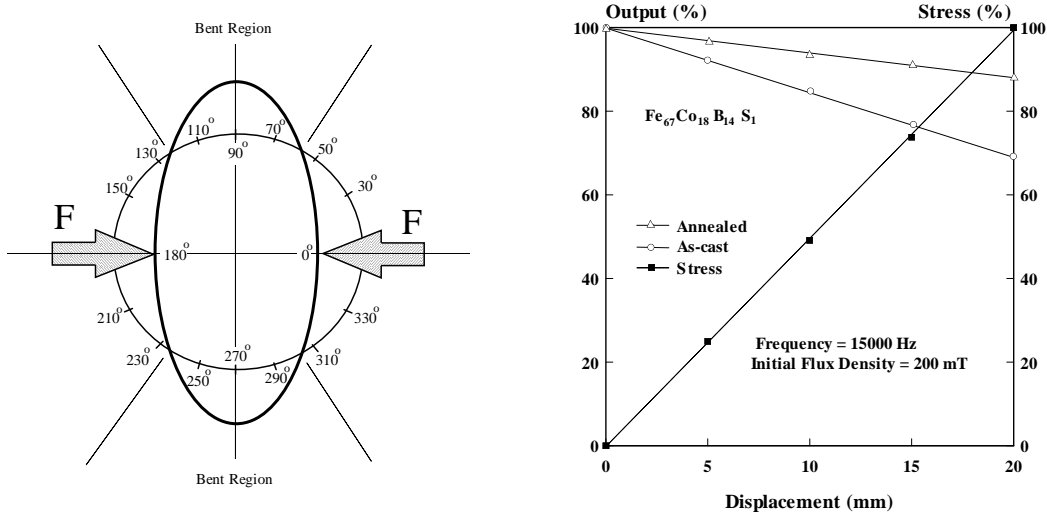
$$\hat{H} = \frac{\sqrt{2}N_1V_{rms}}{RL} \quad (\text{A/m}) \quad (4)$$

ölçülen bu değerler (4) bağıntısında yerine konularak A/m cinsinden sistemin manyetik alan şiddeti hesaplanabilir. Burada \hat{H} , A/m cinsinden manyetik alan şiddetinin tepe değeridir, N_1 primer bobinin sarım sayısıdır, V_{rms} güç direnci üzerinden true rms voltmetre ile okunan gerilimdir, R , üzerinden geçen sinusoidal akım ile orantılı olarak üzerinde gerilim düşmesi oluşan güç direncidir birimi Ω dur, L ise manyetik akının dolaştığı manyetik yol olup birimi m dir.



Şekil 3. Toroidal sensör [6]

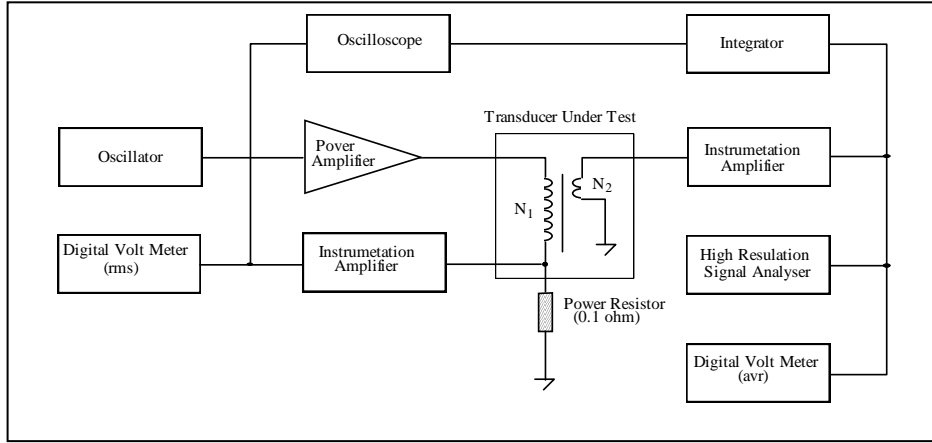
Pozitif magnetostrüksiyon özelliği gösteren drum quenching yöntemi ile üretilmiş metalik cam alaşımlar kullanılarak dizayn edilen toroidal transducerler, Şekil 3. de görüldüğü gibi bir primer manyetizasyon bobini ile bir adet sekonder algıç bobinden oluşmaktadır. Toroidal transducer üzerine uygulanan kuvvet nedeniyle core içinde oluşan gerilmelerin neden olduğu manyetik geçirgenlikteki değişimler sonucu algıç bobinde indüklenen sinyalin değişimi ölçülerek kuvvet, basınç, yerdeğiştirme, sıkışma ve sıcaklık gibi parametreler ölçülebilmektedir. Şekil 4. de dış kuvvetin uygulanması sonucu toroidal core da meydana gelen deformasyonu ve bunun sonucunda algıç bobininde indüklenen sinyalde meydana gelen değişim verilmektedir.



Şekil 4. Uygulanan dış kuvvet nedeniyle toroidal core da oluşan deformasyon ve buna bağlı olarak ortaya çıkan gerilmeler ve Transducerin çıkışında oluşan sinyal değişimi [7]

Prototip manyetoelastik toroidal transducer Şekil 5. de blok diyagramı görülen manyetizasyon devresi kullanılarak test edilmiştir. Transducer dış kuvvetin uygulandığı test ünitesi üzerine monte edilerek

küçük sıkıştırmalara karşılık çıkış sinyalinde oluşan değişmelerin okunması yoluyla test edilmiştir. Test ünitesi manyetizasyon, sıkıştırma ve manyetik ölçme sisteminden oluşmaktadır.



Şekil 5. Toroidal transducerin test edildiği manyetizasyon ve manyetik ölçme sisteminin blok diyagramı

4. GALVANOMETRİK SENSÖRLER:

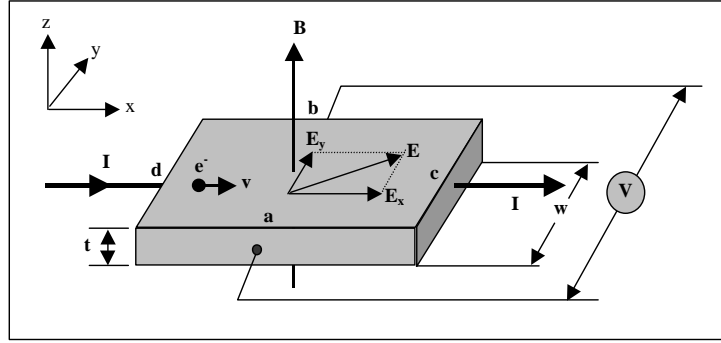
4.1 Hall etkili sensör

Malzemenin fiziksel özelliklerine olan manyetik alan etkisi ile ortaya çıkan galvanometric etkileri kullanarak manyetik alan ölçümlerinde kullanabileceğimiz sensörleri yapmamız mümkündür. Burada temel olarak magnetik alan altında bırakılan bazı yarıiletken malzemelerde manyetik alanla orantılı olarak malzeme içerisinde geçen akım değişmektedir. Bu değişim taşınan yüklerin (5) bağıntısı ile verilen Lorentz kuvveti altında hareket etmelerinden kaynaklanmaktadır.

$$\vec{F} = e\vec{E} + e[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (5)$$

Burada e taşınan yükleri ifade etmekte olup $e = -q$ elektrona ve $e = +q$ holere karşı gelmektedir ve elektronun yükü $e = 1.6 \cdot 10^{-19} C$ 'dur. Ayrıca \vec{E} elektrik alanı, \vec{v} taşınan yüklerin hızı, \vec{B} ise manyetik alanı ifade etmektedir. Bu prensip dahilinde ortaya çıkan iki temel galvanometrik effect sırasıyla Hall effect ve magnetoresistiv effectdir (Thompson effect) [3].

Şekil 6. de görüldüğü üzere yarı iletken malzeme x eksenini boyunca xy düzlemi içerisinde yerleştirilmiş olsun. Bu malzeme, x eksenini yönünde $\vec{E}_{ext} = (\vec{E}_x, 0, 0)$ elektrik alanı etkisinde iken bir I akımı taşıdığından dolayı $\vec{J} = (\vec{J}_x, 0, 0)$ akım yoğunluğuna sahiptir. Söz konusu yarı iletken malzeme, xy düzlemine dik z yönündeki homojen bir manyetik alan (\vec{B}) içerisinde yerleştirildiğinde malzeme içerisinde y doğrultusunda ve \vec{B} manyetik alanına dik olan enine bir elektrik alan oluşur ve Hall alanı \vec{E}_H diye adlandırılır. Bu durumda malzeme üzerindeki toplam elektrik alan $\vec{E} = \vec{E}_{ext} + \vec{E}_H$ dir (Şekil 6).



Şekil 6. Hall effect sensörünün şematik diyagramı

Burada toplam elektrik alandan dolayı yarı iletgenin yanlarına tutturulmuş elektrodlar arasında

$$\vec{J} \approx \vec{J}_0 + \mu_H (\vec{J}_0 \times \vec{B}) \quad (6)$$

(6) eşitliğinde verilen yük transfer bağıntısı nedeniyle ölçülebilecek büyüklükte bir Hall potansiyeli indüklenir. Bu bağıntıda \vec{J} toplam akım yoğunluğunu vermekte olup, J_0 ise (7) eşitliğinde verildiği gibidir.

$$\vec{J}_0 = \sigma \vec{E} - eD \nabla n \quad (7)$$

Bu eşitlikteki terimlerden \vec{J}_0 sadece elektrik alana bağlı olarak ortaya çıkan akım yoğunluğudur, ∇n ise taşıyıcı yoğunluğunun gradyenti olup σ kondaktiviteyi ve D ise difüzyon sabitini vermektedir. Bu Hall potansiyeli (6) eşitliğinde verildiği gibidir. (7) eşitliğinden görüldüğü gibi J_0 uygulanan manyetik alandan bağımsızdır. Bununla beraber manyetik alanın elektrik potansiyelini ve taşıyıcı konsantrasyonunu etkilemesinden dolayı $J_0 \neq J(B=0)$ olur. Bu durumda E_H Hall alanından dolayı yarı iletgen malzemenin a ve b uçları arasında ölçülen Hall potansiyel (8) eşitliğinde verilen integral ifadesi ile bulunabilir.

$$V_H = \int E_H dy \quad (8)$$

burada, $E_H = (0, E_y, 0)$, $B = (0, 0, B_z)$ ve $E_y = -\mu_H B E_x$ olduğundan (8) eşitliği aşağıdaki gibi olur.

$$V_H = -\mu_H B E_x w \quad (9)$$

Burada V_H Hall potansiyeli, μ_H Hall mobilitesi olup B uygulanan manyetik alan, E_x , x ekseninde boyunca elektrik alanı ve w ise Şekil 4. de verildiği gibi yarı iletgen entegrenin genişliğidir [3].

Hall effect sensörünün manyetik alan şiddeti (H) veya manyetik akı yoğunluğu (B) ölçümlerinde kullanılabilmesi için Şekil 7 de verilen solenoid sistemi içerisine yerleştirilerek kalibre edilmesi gerekmektedir.

Sensörün manyetik alan şiddeti H (A/m) ölçümü için kalibrasyonunda Şekil 5 de verilen devre kullanılabilir. Bu devrede Hall sensörünün içine yerleştirildiği Solenoid varyak aralığı ile kontrol

4.2 Magneto-resistif sensör

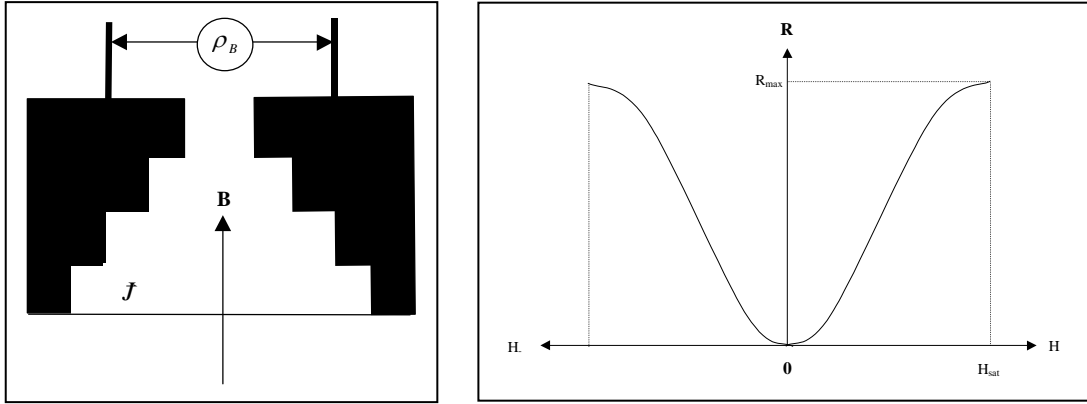
Magnetik alan içinde bulunan malzemelerin direçleri uygulanan alanla orantılı olarak değişim göstermektedir. Malzemenin direncindeki bu değişim manyetik alanın büyüklüğünü ölçmede bir yöntem olarak kullanılabilir. Yeterince zayıf bir manyetik alan içine yerleştirilmiş bir malzemenin direncinin değişimi, (10) eşitliğinde verildiği üzere akım yoğunluğu vektörüne dik olan manyetik alan bileşeninin karesi ile orantılıdır.

$$\rho_B = \rho_0(1 + CB_{\perp}^2) \quad (10)$$

Burada, ρ_0 malzemenin manyetik alanın bulunmadığı ($B=0$) ortamdaki direncidir. Ayrıca C magneto-resistans katsayısı olup, B_{\perp} manyetik alanın akım yoğunluğu vektörüne dik bileşenidir. Burada $\sigma = \frac{1}{\rho}$ olup iletkenliği vermektedir. Burada (10) eşitliği yeniden düzenlenirse,

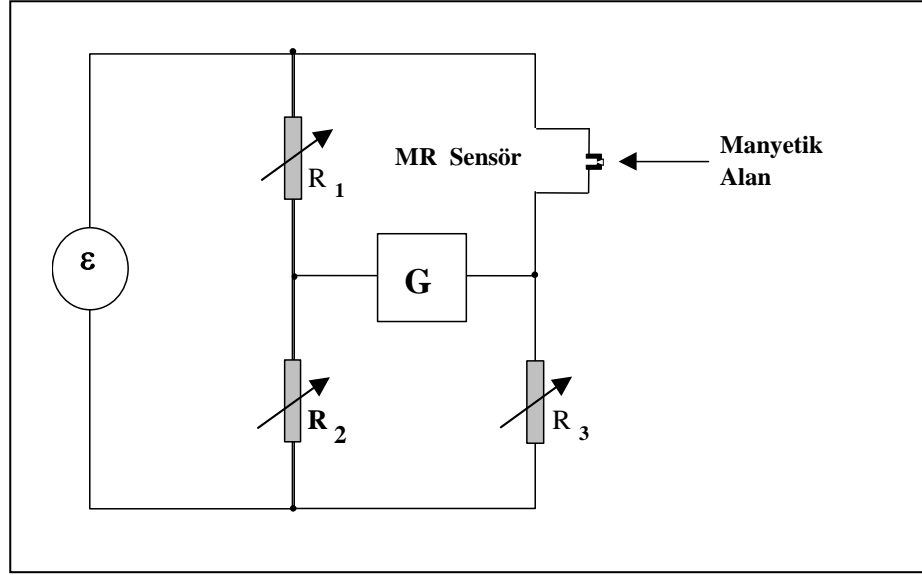
$$\sigma_B = \frac{\sigma_0}{1 + CB_{\perp}^2} \quad (11)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitlike σ_0 terimi manyetik alanın ortadan kalktığı $B=0$ durumunda ki kondaktiviteyi vermektedir. Şekil 9 'da manyeto-resistiv sensörün şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 9. Manyeto-resistiv sensör ve karakteristik eğrisi

Şekil 9. da manyetoresistive (MR) sensörün direncinde manyetik alana bağlı değişim verilmektedir [8]. (10) eşitliğinde verildiği üzere $H=0$ olduğunda manyetik alandan dolayı ortaya çıkan dirençteki değişim miktarı sıfır değerindedir. Daha sonra manyetik alan negatif yada pozitif yönlerde değiştiği zaman MR sensörün direncinde değişim ortaya çıkmaktadır.



Şekil 10. MR sensörün bağlandığı köprü devresi

Bu şekilde, R_1 , R_2 ve R_3 ayarlı dirençlerinin değerleri değiştirilerek balans edilmiş bir Weston köprüsü devresine bağlanan MR sensörün direnci değişen manyetik alana bağlı olarak değişim göstermesi sonucu köprü çıkışındaki G galvanometresi ile okunan sinyal bize manyetik alanın değeri hakkında bilgi verecektir.

5. SONUÇ VE YORUM

Bu çalışma çerçevesinde sensör ve transducerin tanımı yapıldıktan sonra kronolojik olarak sensör etkilerinin keşifleri verilmiştir. Daha sonra genel anlamda mekanik gerilmelerin manyetik özelliklere etkilerinin değişik olayları algılamada bir parametre olarak kullanılan manyetoelektik transducerler incelenmiştir. Daha sonraki aşamada ise Hall etkili sensör ve bunun B ve H ölçümü için kullanılabileceği ve bu sensörün kalibrasyonundan bahsedilmiştir. Son olarak ise galvanometrik sensörlerden olan MR (Magneto Resistive) sensör irdelenmiştir.

Bu incelemeler sonucunda araştırmanın değişik aşamalarında elde edilen bulgulardan birçok olayın sensör ve transducerler ile kontrol edilebileceği sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKÇA

- [1] K. J. OVERSHOTT, **Physical principles**, Editörler: K. J. Overshott, R. Boll, Sensors: a comprehensive survey, Volume 5: Magnetic sensors, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Venheim, Federal Republic of Germany, (1989), 1-33.
- [2] G. HINZ, H. VOIGT, **Magnetoelastic sensors**, Editörler: K. J. Overshott, R. Boll, Sensors: a comprehensive survey, Volume 5: Magnetic sensors, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Venheim, Federal Republic of Germany, (1989), 33-42.

- [3] R. POPOVIĆ, W. HEIDENREICH, **Magnetogalvanic sensors**, Editörler: K. J. Overshott, R. Boll, *Sensors: a comprehensive survey*, Volume 5: Magnetic sensors, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, (1989),43-96.
- [4] T. MEYDAN, M. GÖKTEPE, A. HONDA AND N. DEREBAŞI, Influence of bending stress on domain motion in amorphous material based magneto_elastic transducer, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 112 (1992) 269-271.
- [5] M. GÖKTEPE, The influence of bending stress on flux distribution in amorphous ribbon toroidal transducer cores, Ph.D. Thesis, University of Wales College of Cardiff, Cardiff, (1994).
- [6] MUSTAFA GÖKTEPE, TURGUT MEYDAN, ANTHONY J. MOSES, An amorphous toroidal displacement transducer, **Advanced Computational and Design Techniques in Applied Electromagnetic Systems**, (1995) 643-646.
- [7] MUSTAFA GÖKTEPE, TURGUT MEYDAN, Variation of the flux densities in the amorphous toroidal transducer core, **IEEE Transaction on Magnetics**, Vol.30, (1994) 4863-4865.
- [8] P.I. NICHOLSON, T. MEYDAN, A.J. MOSES, Design and Construction of an MR sensor based magnetic domain observation system controlled by a transputer, **Technical Report to UWCC**, Cardiff, (1993) 1-14.