

PIEZOELEKTRİSİTE VE BİYOLOJİK DOKULARDAKİ ÖNEMİ

Dr. M. Cemil Uğurlu *

Bazı asimetrik yani simetri merkezinden yoksun kristallere (13, 18) belirli kristal eksenleri boyunca mekanik bir gerilim veya basınç uygulandığında, kristalin muayyen yüzeylerinde elektrik yükü husule gelmekte ve basınç kalkar kalkmaz elektriksel potansiyel kaybolmaktadır (1, 8, 13, 17).

Mekanik basıncın doğrudan doğruya elektriğe dönüşümünü belirleyen bu olay 1880 yılında Curie kardeşler (Pierre ve Paul-Jacques Curie) tarafından keşfedilmiş olup (1, 8, 13, 17), «piezoelektrik olay» (**) (1, 13, 17, 18) veya «Curie olayı» (17) diye isimlendirilmiştir. Sorbon üniversitesinde profesör olan Curie kardeşler, Seignette tuzu (Rochelle tuzu) (4) kristaline basınç uyguladıklarında kristalin birbirine karşıt iki yüzünde bir elektrik potansiyelinin husule geldiğini ve basınç kaldırılınca, potansiyelin kaybolduğunu tespit etmişlerdir (17). Kristale - ilkin bir yönde, müteakiben zıt yönde olmak üzere - süratle alternatifleşen mekanik baskılar tatbik edildiğinde, elektrik potansiyeli önce işaretlerden birini (+) ve sonra diğer işareti (—) münavebe ile göstermekte ve böylece uygun bir mekanik düzenle alternatif bir voltaj üretilebilmektedir (17).

Kısa bir zaman sonra bu deneyin tersini yapan Curie kardeşler, kristalin iki yüzeyine alternatif bir voltaj uygulamak suretiyle, elektrik akımının devirleri (cycles) ile senkron olarak, kristalin yarım periyotta genişleyip, müteakip yarım periyotta ise daraldığını müşahade etmişlerdir (13, 17). Buna «ters piezoelektrik olay» (1, 17,

* A. Ü. Tıp Fakültesi Fizik Tedavi ve İdroloji Kürsüsü Uzman Asistanı.

** Piezo Grekçe basınç anlamında olup piezoelektrik, basınç elektriklenmesi demektir (17).

18) veya «ters Curie olayı» (17) denilmektedir. Bu olay, uygulamada diğerinden çok daha önemli olup (17), kristalin x veya y doğrultusundaki hareketine bağlı olarak «uzunluğuna resiprok etki (longitudinal reciprocal effect)» veya «enine resiprok etki (transverse reciprocal effect)» isimleriyle de zikredilmektedir (1) (Şekil 1).



Kesit Y

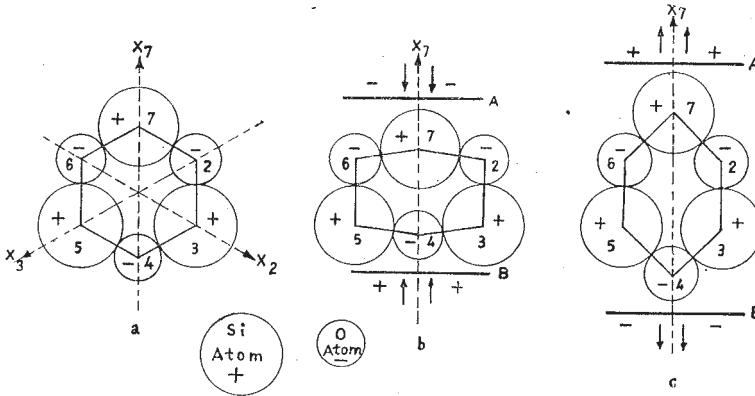
Kesit X

Şekil: 1 — Kristal hareketi (Carlin'den (1))

Piezoelektrik özelliği haiz maddeler sunî ve tabiî olup, çeşitli kristallerin titreşim güçleri farklıdır (17). Piezoelektrisite, başlıca şu kristallerde görülmektedir: kuartz (1, 2, 8, 9, 10, 12, 13, 17), Rochelle tuzu (1, 13, 17), barium titanate ($BaTiO_3$) (1, 13, 17, 19), lithium sulphate ($LiSO_4$) (1, 19), tourmaline (1, 13) ve ammonium dihydrogen phosphate (ADP) (1). Barium titanate çok az voltaja ihtiyaç gösterdiği halde, kuartz daha büyük empedansa sahip olduğundan daha yüksek voltajı gerektirir; lithium ise orta derecede empedansa sahiptir (19). Santimetre kareye üç wattlık (3 watt/cm^2) bir çıkış enerjisi (output)nde, yaklaşık olarak, barium 100, kuartz 2000 ve lithium ise 500 voltu gerektirebilir (19). Belli bir çıkış gücü için, volt ve amperlerin çarpımı sabit olup ($\text{Watt} = \text{Wolt} \times \text{Amper}$) amperaj, voltajla ters orantılı olarak değişir (19).

1917'de Fransız fizikçisi Paul Langevin, kuartz kristalini kullanarak, akustik veya mekanik ossilasyonlar spektrumunun bir kısmını teşkil eden ultrasonları husule getirmiştir (8, 13). Elektrik enerjisinin mekanik titreşimlere dönüştürülmesinde en yaygın ölçüde kullanılan kristal kuartzdır (17, 19); zira kuartz büyük basınçlara ve 200.000.000 frekansa kadar dayanabilmektedir (8). Tıpta kullanılan ultrasonlar, piezoelektrik özelliğinden yararlanılan kuartz kristali yüksek frekanslı bir potansiyel farkına (alternatif akıma) maruz bırakılarak elde edilmektedir (8, 9, 16, 19). 1955'den sonra, ultrasonik cihazlarda, kuartzdan daha ucuz fakat daha az dayanıklı olan barium titanate gibi seramik kristaller de kullanılmıştır (13).

Kuartz tabii silica (SiO_2) kristalinden ibarettir (18). Kuartz kristalinin piezoelektrik özelliği şöyle izah edilmektedir (8, 10) (Şekil 2): Normalde SiO_2 kristalinin iyon şebekesinin dışı doğru bir elektrik etkisi yoktur (Şekil 2a); baskı (kısılma) veya çekme (uzama) esnasında ise bu altıgen (hexagonal) kristalin biçimi bozulmaktadır. Kuartz kristaline yapılan baskı etkisiyle, elektriksel eksenindeki bir pozitif silis iyonu içe doğru kayar ve aynı şekilde yerlerini değiştiren pozitif bütün silis iyonları, bu elektrot üzerinde negatif bir yük husulüne sebep olur. Basınç etkisiyle, aynı zamanda, negatif oksijen iyonunun kaydığı karşı elektrotta ise pozitif bir yük meydana gelir (Şekil 2b). Basınç yerine çekme olduğunda durum, bunun tamamen tersi olur (Şekil 2c).



Şekil: 2 — Kuartz kristalinde piezoelektrik olayın şematik temsili (Bergmann'a göre. Lehmann'dan (10))

Elektrotlar üzerinde meydana gelen elektrik miktarları, P. Curie kanununa bağlı olarak basınç değişimleriyle orantılıdır; kristalin kitlesine bağlı olmaksızın, her bir kilogramlık basınç için, takriben 2.10^{-11} coulomb elektrik husule gelmektedir (8).

İki yüzeyine alternatif bir akım uygulandığında, yarım periyotta sıkışan, müteakip yarım periyotta ise genişleyen ve böylece akımın frekansı ile senkron olarak ritmik titreşimler yapan bir kuartz plak, elektriksel eksen istikametindeki 2000 voltluk bir gerilim esnasında takriben 4.10^{-7} cm. genişler veya daralır (8).

Biyolojik dokulardaki piezoelektrik olay, ilk defa 1941 yılında Martin tarafından bildirilmiştir (11, 15). Martin, basınca maruz bırakılan yün ve kıl demetlerinde elektriksel bir polarizasyon husulünü ve bu maddelerde büyük termal gradient'ler *** altında sıcaklık elektriklenmesi (pyroelectricity)**** olayını müşahade etmiştir (11, 15). Tokyo Üniversitesinden Eiichi Fukada, protein veya sellüloz gibi iri biyolojik moleküllerin piezoelektrik özelliği haiz olduğunu tespit etmiştir (17).

Fukada'nın bu gözlemi, ultrasonik insonasyonun uyarıcı etkisinin açıklanması bakımından da önemli olup, insonasyonla husule gelen ses basıncının tek başına terapötik ajan olmadığı fakat iri biyolojik moleküller üzerinde meydana gelen elektrik yüklerinin (piezoelektrik yükler) yani elektriksel kutuplanmanın sinirleri ve kasları uyardığı bildirilmektedir (17).

Piezoelektrik olayın, sert ve yumuşak birçok dokularda meydana geldiği bilinmektedir. Shamos ve Lavine, bu dokulardaki piezoelektrik özelliğin, kollajen gibi yönelmiş fibröz proteinlerin mevcudiyetiyle ilgili olduğunu düşünmekte ve piezoelektrisitenin canlı dokular için evrensel (universal) bir özellik olabileceği, çeşitli fizyolojik fenomenlerde önemli etkilerinin bulunabileceği hususuna dikkati çekmektedirler (15).

Piezoelektrisitenin, tahta (15), ipek lifleri (5, 15), kemik (6, 14) ve tendon (7, 15) gibi muhtelif organik dokularda husule geldiği tespit edilmiştir. Bütün bu durumlarda, klasik piezoelektrisite için, lineerlik ***** ve reversibilite ***** gibi mutata olan kriterler mevcut-

*** Gradient : Herhangi bir niceliğin uzaysal değişim oranını yani mekana bağlı azalma veya artma şeklinde bir değişmeyi ifade eder, gradient sıfır ise değişme yoktur. Matematiksel olarak gradient, vertikal uzaklığın yatay uzaklığa oranıdır yani açının tanjantıdır. Küçük gradient'ler için sinüs ve tanjant arasındaki fark önemsizdir.

**** Grekçe pyr kelimesi sıcaklık, ısı, ateş anlamlarında olup (4), piroelektriklik (pyroelectricity) bazı kristallerin ısınmasıyla ortaya çıkan elektrikiyetir. Bu olayda, ısıtma, elektriklenmeyi yaratmamakta fakat daha önce mevcut olan elektriklenmeyi meydana çıkarmaktadır (3).

***** Lineerlik (Linearity) : Çizgisellik anlamında olup geometrik grafiği bir doğru çizgi halindedir. Burada, piezoelektrik özelliği haiz bir cisme uygulanan mekanik stres P ve bunun husule getirdiği elektriksel potansiyel V ile gösterilirse, ikisi arasındaki matematiksel olarak $V = f(P)$ fonksiyonel genel bağıntısı, k bir sabit sayıyı göstermek üzere $V = k.P$ çizgisel (lineer) bağıntı şeklini alır.

***** Reversibilite (Réversibilité) : Tersinirlik anlamında olup, bir olayda etki kalkınca, önceki durumuna dönme özelliğini ifade eder. Burada, mekanik sters kalkınca piezoelektrik özelliği haiz cismin elektriksel yükü ilk durumuna dönmektedir. Keza elektrik akımı kesilince, cisim önceki kalınlığını almaktadır.

tur (15). Eğilme stresi altında bulunan kemikteki elektriksel kutuplanma (electric polarization) üzerinde kalitatif incelemeler yapan bir grup araştırmacıların, gözlenen fenomenin sadece piezoelektrisite ile meydana gelebileceği kanısında olmalarına mukabil, klasik görüşü kuvvetle destekleyici delillerin daha ağır bastığı bildirilmektedir (15).

Piezoelektrik etki, sert dokularda da dokunun esas organik muhtevasına atfedilmektedir: Örneğin kemik ve tendonlarda kollajen, tahtada sellüloz bu özelliği haiz başlıca organik maddeyi teşkil etmektedir (15).

Piezoelektrik etki, uygulanan baskının (stres) doğrultusuna bağlı olup, makaslama stresler için maksimum, sıkıştırıcı veya uzatıcı stresler için minimumdur: Örneğin uzun kemikte kollajen liflerin doğrultusu kemiğin eksenine paralel olsun veya olmasın, kollajen eksenine 45 derecelik açıda yöneltilmiş mekanik stresler uygulandığında maksimum piezoelektriklenme usule gelmektedir (15). Bu, tendon ve odundaki fibröz moleküller için de varittir (15).

Piezoelektrisite, uzun zincir halinde yönelmiş fibröz moleküllerde makaslama bir stresten ileri gelmektedir ki, burada esas olay moleküler yapıdaki çapraz bağların, muhtemelen hidrojen bağlarının distorsiyonundan dolayı elektrik yükünün displasmanıdır yani moleküldeki elektriksel yük dağılımının biraz yer değiştirmiş olmasıdır (15). Özet olarak, Shamos ve Lavine, canlı bir dokuda piezoelektrisitenin şartını makaslama bir stresle polarize olabilen, bir eksenli (uniaxial) sistem meydana getirecek biçimde çapraz bağlı, iyi düzenlenmiş asimetric fibröz bir molekülün mevcudiyetine bağlamaktadırlar (15).

Bütün konnektif dokular, kollajen, keratin, elastin, retikulum yahut sellüloz gibi fibröz moleküllerin bir veya daha fazla çeşitlerini ihtiva ederler ve genel olarak bu moleküller, eğer bütünüyle morfolojik bir düzende değilse, kısa dizili asimetri anlamında, bir nevi kristal gibi yapıdadırlar. Yumuşak dokularda da piezoelektrisitenin bulunabileceğini belirten bu hipotezi, Shamos ve Lavine, deri, callus (stratum corneum) ve kartilaj gibi yumuşak dokuların kurumuş nümuneleri üzerinde yaptıkları araştırmalarla teyit etmişlerdir (15).

Sonuç olarak, şimdiye kadar, bazı biyolojik dokuların piezoelektrik özelliği haiz olmalarının anlaşılması, biyolojiyle fizik arasında, bazı araştırmacılara göre muhtemelen evrensel bir mahiyet kazanabilecek ve fizyolojik olayların izahında önemli, yeni bir bağ meydana getirmektedir.

ÖZET

Bu makalede, piezoelektrisitenin esası ve bazı biyolojik dokuların bir özelliğini teşkil etmesi bakımından haiz olduğu önem üzerinde durulmuştur.

RÉSUMÉ

La piézo-électricité et L'importance qu'elle possède dans les tissus biologiques

Dans cet article, l'auteur s'arrête sur l'importance de la piézo-électricité et la particularité qu'elle possède dans certains tissus biologiques.

Not : Fizik kavramlarının açıklanmasındaki yardımlarından dolayı fizik doçenti sayın Dr. Ziya Güner'e teşekkürü borç bilirim.

LİTERATÜR

- 1 — CARLIN, B.: Ultrasonics, s: 38-45, second edition, McGraw-Hill book Company Inc., New York, Toronto, London, 1960.
- 2 — ÇUBUKÇU, O. C.: Tedavide fizik vasıtalar ve tatbikatı, s: 132-138, İstanbul, 1954.
- 3 — DEKKER, A. J.: Solid state physics, s: 185, Mac Millan & Co. Ltd., 1962.
- 4 — DORLAND'S Illustrated Medical Dictionary, s: 1141, 23 rd edition, Saunders Co. Philadelphia and London, 1958.
- 5 — FUKADA, E.: J. Phys. Soc. Japan, 11; 1301, 1956 (Nature'de 213: 267, 1967).
- 6 — FUKADA, E.; YASUDA, I.: J. Phys. Soc. Japan, 12: 1158, 1957 (Nature'de 213: 267, 1967).
- 7 — FUKADA, E.; YASUDA, I.: Jap. J. App. Phys. 3: 117, 1964 (Nature'de 213: 267, 1967).
- 8 — KOÇAŞ, H.: Ultrasonların nöro-vejetatif sistem üzerine tesiri (Doçentlik tezi), s: 14-18, 1951.

- 9 — LEDOUX-LEBARD, G.; BARGY, P.: *Physiothérapie*, s: 76-81, Masson et Cie, éditeurs, Paris, 1957.
- 10 — LEHMANN, J. F.: *Ultrasound Therapy*: LICHT, S.: *Therapeutic heat and cold*, s: 321-386, second edition, Elizabeth Licht Publisher, 1965.
- 11 — MARTIN, A. J. P.: *Proc. Phys. Soc.*, **53**: 186, 1941,
- 12 — PORYALI, E.: *Elektroterapi*, s: 188-205, 1960.
- 13 — ROGOFF, J. B.: *Ultrasound*: LICHT, S.: *Therapeutic heat and cold*, s: 275-276, second edition, Elizabeth Licht, Baltimore, 1965.
- 14 — SHAMOS, M. H.; LAVINE, L. S.: *Clin. Orthoped.*, **35**: 177, 1964,
- 15 — SHAMOS, M. H.; LAVIN), L. S.: *Piezoelectricity as a fundamental property of biological tissues*; *Nature*, **213**: 267, 1967.
- 16 — LICHT, S.: *Therapeutic heat and cold*, s: 221-223, second edition, Elizabeth Licht. Baltimore, 1965.
- 17 — SUMMER, W.; PATRICK, M. K.: *Ultrasonic Therapy*, s: 2-21, Elsevier publishing Co., Amsterdam, London, New York, 1964.
- 18 — UVAROV, E. B.; CHAPMAN, D. R.: *A dictionary of science*; s: 103, 167, 179, Penguin Books Ltd. Baltimore, 1960.
- 19 — WATKINS, A. L.: *A Manuel of electrotherapy*, s: 245-254, second edition, Lea & Febiger, Philadelphia, 1965.

(Mecmuaya geldiği tarih: 7 Kasım 1970).