



## SAĞLIK ALANINDA KULLANILAN BİYOMEDİKAL CİHAZLARIN MÜHENDİSLİK FİZİĞİ

Murat AYHAN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gençlik ve Spor Bakanlığı, Malatya Gençlik ve Spor İl Müdürlüğü, Eğitim Şube Müdürlüğü, Malatya

### Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 14.03.2022  
Kabul Tarihi: 20.06.2023  
Yayın tarihi: 29.06.2023

### ÖZET

Günümüzde birçok hastalığın tanı, tedavi ve teşhisinde sağlık çalışanlarının işini kolaylaştıran kısa zaman içerisinde detaylı bilgiler edinilmesine olanak sağlayan biyomedikal cihazlar artık sağlıkta vazgeçilmez olarak görülmektedir. Sağlık çalışanlarının tıbbi bilgileri ile mühendislik biliminin mekanik birikimleri ve tasarımları sonucu ortaya biyomedikal cihazlar çıkarıldı. Biyomedikal cihazların ortaya çıkması, multidisipliner çalışmaların sonucunda elde edilen kazanımlarla birlikte önemli noktalara ulaşıldı. Fizikçilerin sağlık alanına sunduğu katkılar özelde sağlık fiziği adında bir disiplin oluşturdu. Bu disiplinin sağlık alanına destekleri temelde teorik ve mekanik olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Teoride bilgi akışı sağlayarak sağlığa zararlı maddeler hakkında halk sağlığını korumaya yönelik bilinçlendirme yapıp farkındalık oluşturuldu. Mekanik boyutta ise cihaz teknolojileri sağlıkçıların işlerini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Bu cihazlar İnsan hayatını kolaylaştırmanın yanında ayrıca gelecekte toplumların sağlıklı bir yaşam sürmelerine katkı sağlayacağı geçmişteki tecrübelerle görüldü. Geçmişten günümüze biyomedikal cihazların kullanılması ve yapılan uygulamaların hastaların sağlığına kavuşmalarında olumlu etkileri olduğu bilinen bir gerçektir. Bu bağlamda en azından azami ölçüde biyomedikal cihazların işleyişinde bilgi sahip olunması ve cihazların çalışma sistematığının teorik olarak bilinmesi önem arz etmektedir. Böylelikle biyomedikal cihazların geliştirilmesi daha kolaylaşacak ve çalışma sistematığının temel argümanları hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Bir adım ötesi ise daha portatif ve işlevsel cihazlar geliştirilebileceği üzerine tartışma zemini oluşturulacaktır.

Anahtar Kelimeler;

Biyomedikal Cihazlar, Sağlık Fiziği, Cihaz Teknolojileri.

## ENGINEERING PHYSICS OF BIOMEDICAL DEVICES USED IN HEALTH

### Article Info

Received: 14.03.2023  
Accepted: 20.06.2023  
Published: 29.06.2023

### ABSTRACT

Today, biomedical devices, which facilitate the work of health professionals in the diagnosis, treatment and diagnosis of many diseases, and enable detailed information to be obtained in a short time, are now seen as indispensable in health. Biomedical devices were created as a result of the medical knowledge of healthcare professionals and the mechanical knowledge and designs of engineering science. Important points have been reached with the emergence of biomedical devices and the achievements obtained as a result of multidisciplinary studies. The contributions of physicists to the field of health created a discipline called health physics in particular. The support of this discipline to the field of health can be basically divided into two groups as theoretical and mechanical. By providing information flow in theory, awareness was raised to protect public health about substances harmful to health. In the mechanical dimension, device technologies aim to facilitate the work of healthcare professionals. In addition to making human life easier, these devices will also contribute to a healthy life in the future, it has been seen with past experiences. It is a known fact that the use of biomedical devices and applications from past to present have positive effects on patients' recovery. In this context, it is important to have at least maximum knowledge in the

operation of biomedical devices and to know the working systematics of the devices theoretically. Thus, the development of biomedical devices will be easier and information about the basic arguments of the working systematic will be gained. One step ahead, a discussion ground will be created on the possibility of developing more portable and functional devices.

Keywords;

Biomedical Devices, Health Physics, Device Technologies.

## 1. Giriş

Fizik, birçok bilim dalı ile koordineli olarak çalışmalar yürüten temel bir bilimdir. Temel bir bilim olmasından ötürü temas etmediği alan neredeyse yok denecek kadar azdır. Özellikle modern bilimlerin gelişmesiyle oluşturulan multidisipliner çalışmalarda ön plana çıkarıldı. Bunların başında sağlık alanında yapılan çalışmalar ve araştırmaların geldiği söylenebilir. Çünkü birey sağlıklı olmadığı zaman birçok işten geri kalmakta ve hayatı çekilmez bir hale dönüşebilmektedir. Bu bakımdan sağlık alanına fizik bilimi ile uğraşanların yanında çok farklı disiplinlerden katkılar sunuldu. Fizikçilerin sağlık alanına sunduğu katkılar özelde sağlık fiziği adında bir disiplini oluşmasını sağladı (Bayri, 2019). Bu disiplinin sağlık alanına destekleri temelde teorik ve mekanik olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Teoride bilgi akışı sağlayarak sağlığa zararlı maddeler hakkında halk sağlığını korumaya yönelik bilinçlendirme yapıp farkındalık oluşturuldu. Mekanik boyutta ise cihaz teknolojilerinin sağlıkçıların işlerini kolaylaştırması amaçlandı. Bu amaca yönelik yapılan çalışmalar sonucunda biyomedikal cihaz teknolojileri sağlık fiziğinde başat bir rol aldı (Sezdi ve Aydın, 2009). Biyomedikal cihazlara: hastalıkların teşhis edilmesi, önlenmesi, izlenmesi, tedavi edilmesi ve en az hasarla kontrol altına alınmasında bununla birlikte yaralanmaların veya sakatlanmaların belirlenmesi, izlenmesi, tedavisi, hafifletilmesi ve telafi edilmesinde başvurulur. Ayrıca anatomik veya fizyolojik süreçlerin araştırılması, değiştirilmesi ile bazı ilavelerin yapılmasına katkı sağlayan, gebelik döneminin kontrollü ilerlemesine destek olan cihazlardır. Bu cihazlar tek başına veya birlikte kullanılabilir. Canlı dokular üzerinde esas kullanım amacı farmakolojik, immünolojik veya metabolik yöntemlerle gerçekleştirilemeyen fakat bu yöntemlerden yardım alan materyal ya da mekanik donanım sistemlerinin tamamı biyomedikal cihaz olarak tanımlanabilir (Çelebi, 2008). Günümüzde özellikle birçok hastalığın tanı, tedavi ve teşhisinde sağlık çalışanlarının işini kolaylaştıran kısa zaman içerisinde detaylı bilgiler edinilmesini olanak sağlayan bu cihazlar artık sağlıkta vazgeçilmez

olarak görülmektedir. Biyomedikal cihazların ortaya çıkması ise multidisipliner çalışmalardan elde edilen kazanımlarla önemli noktalara gelindi. Sağlık çalışanlarının tıbbi bilgileri ile mühendislik biliminin mekanik bilgileri ve tasarımları sonucu ortaya insan hayatını kolaylaştıran ve sağlıklı bir yaşam oluşmasına katkı sağlayacak biyomedikal cihazları çıkardı. Bu cihazların temel fonksiyonu canlı dokuya zarar vermeden ya da en az zarar ile hastalığın tedavisi için gerekli bilgileri elde edilmesidir (Çamurcu, 1996). Bu temel bilimlerden sıkça başvuru alan ise fizik bilimi olsa gerek çünkü fiziğin ana uğraşlarından olan sıcaklık, basınç, elektrik, manyetizma, denge ve buna benzer birçok nicelik insan vücudunda cereyan etmekteydi. Bu çalışmada biyomedikal cihazların işlevlerinden bahsederken aynı zamanda cihazların oluşturulmasında yararlanılan temel mantık ve fizik yasalarından da bahsedeceğiz. Fiziğin insan hayatını her yönüyle etkilediğini gözler önüne sermeye çalışacağız (Yester, 2007). Sağlığın önemini ve hayatımızda vazgeçilmezlerin sıralamasında en başta olduğu dünya tarafından Covid-19 salgınıyla tekrardan öğrenildi. Salgının küresel ölçekte etkilerinin ve neden olduğu hasarın boyutları tartışılmaz bir gerçek olarak ortaya döküldü. Ayrıca salgının ülkelerinin sağlık sistemlerinin yanı sıra ekonomik, sosyal, kültürel ve demografik etkilerinin onlarca yıl süreceği yadsınamaz bir gerçeği önümüze serildi. Salgın birçok sektörü olumsuz etkilemekle birlikte biyomedikal cihazların önemini ve hastalıkların bertaraf edilmesindeki hayati fonksiyonunu bizlere hatırlattı (Çetintepe, 2020). Salgın sırasında yaşanan sağlık malzemelerinin eksikliği özellikle ise biyomedikal cihazların eksikliği ülkeleri biyomedikal cihaz teknolojileri alanında arge çalışmaları yapmaya zorladı. Birçok gelişmiş ülke biyomedikal cihazların arge çalışmalarına ve geliştirilmesine ekonomik anlamda ciddi paylar ayırmaya başladı ve bu alanda yapılan çalışmaları destekledi ve hatta bilim insanlarını bu yönde çalışmalar yapmaya kanalize ettirildi. Birçok ülkede ve ülkemizde özellikle ventilatör (solunum cihazı) sıkıntısı yaşanıldı. Özelde ülkemizde genelde tüm dünyada ventilatör üretimine hız verildi (Dartey ve Beah, 2020). Bu bağlamda ilk olarak biyomedikal

cihazlardan ventilatör cihazını ele alıp işlevini ve altında yatan fiziği inceleyeceğiz. Daha sonra ise sırasıyla sağlık alanında çokça kullanılan ve günlük hayatta sıklıkla karşılaştığımız diğer biyomedikal cihazların bir bölümünü ele alıp irdeleyeceğiz.

## 2. Solunum Cihazı Mekanîği

Ventilatör, solunumu durma noktasına gelen bireyi solutmak için yapay olarak cihaz desteği ile solunumun devam ettirilmesi işlevini gerçekleştiren medikal cihaza verilen isimdir. Soluk alıp verme sırasında diyafram kası emme basma tulumu sisteminde olduğu gibi çalışmaya başlar. Nefes aldığımızda akciğerlerimiz hava dolduğundan aşağı doğru bir eğilim gösterir ve diyafram kası düzleşir. Soluk verdiğimizde akciğerler içerisindeki hava boşalır akciğerlerimiz yukarı doğru çıkar ve diyafram kası kubbeleşir. Burada akciğerler, göğüs kafesi ve diyaframın mükemmel uyumlu çalışmasıyla nefes alıp verme işlemi gerçekleşir. Bu işlemin temelinde basınç farkı oluşmasına bağlı olarak havanın sirküle olmasına bağlı olarak yer değiştirmesi yatmaktadır (Kumaş, 2009). Bu doğal solunumun sonucu oluşan bir durumdur bu olayı yapay yolla nasıl yapabiliriz diye düşünülmüş, 1800'lü yılların son dönemlerinde solunum problemi yaşayan ve çok ciddi solunum yetmezliği olan hastalarda çelik akciğer denen bir sistem uygulanmış ve başarı elde edilmiştir. Çelik akciğerin temelinde basınç farkı oluşturmak ve akciğerlere havanın dolmasını sağlamaktır. Sistemin çalışmasında aslında temel fizik ve kimya prensibi olan gazların basıncı prensibi yatmaktadır. İdeal gaz basıncı olarak isimlendirilen bu teori;

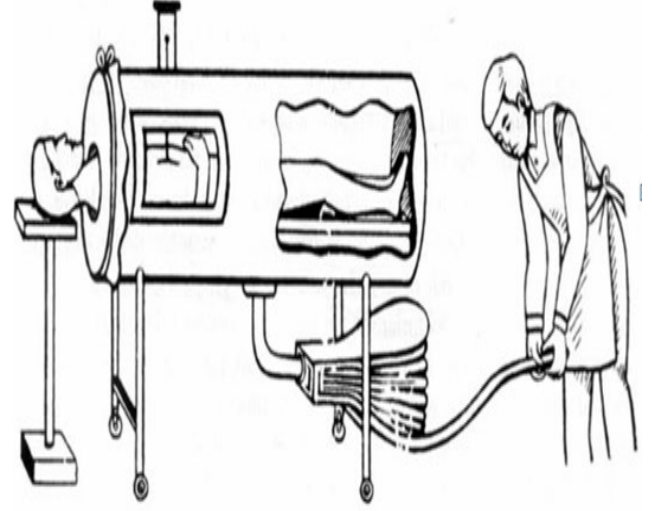
$$PV=NRT \quad (2.1)$$

Formülü ile ifade edilmektedir. İlk mekanik ventilatör olarak bilinen çelik akciğer olarak ta isimlendirilen mekanizma ideal gaz yasasının uygun çalışmaktaydı. Formülde sıcaklık ve hacim sabit tutulduğunda basınç ile gaz miktarının doğru orantılı olarak değiştiği 17. Yüzyılda Robert Boyle tarafından tespit edilmişti. Boyle yasasına göre sıcaklık sabit tutulduğu sürece belirli ölçüde alınan ideal gazın hacmiyle basıncının çarpımının sabit olduğu ortaya çıkarıldı (Kimyaevi.org). Matematiksel bir anlatımla Boyle yasası şu şekilde ifade edilebilir.

$$PV=k \quad (2.2)$$

k sabit değeri, P pascal basınç değeri ile V kübik metre olarak hacim değerlerinde değişiklik yapılarak

elde edilebilir. İlk ventilatör olarak kayıtlara geçen çelik akciğer sistemi de bu yasa ilham alınarak üretildi. Şekil 1'de de görüldüğü üzere hasta baş kısmı dışarıda diğer kısımları ise içeride kalacak şekilde sabit hacimli çelik bir yapının içerisine yerleştirilmişti (Rackus vd., 2018).



Şekil 1. İlk ventilatör sistemi çelik akciğer

İlk olarak manuel vakumla sistemi ile çelik yapının içerisindeki hava boşaltılmış ve akciğere hava dolması sağlanmıştır. İlerleyen zamanlarda, 1930'lu yıllarda ise hava boşaltma işlemi çelik yapının altına takılan motor yardımıyla yapılmaya başlanmış ve bu sistem birçok hastanede uzun yıllar kullanılmıştır. Taki 1990'lı yıllara gelinip Şekil 2'deki dijital ventilatörler kullanılana kadar çelik akciğerler hasta tedavisinde tercih edildi. Dijital sistemlerinde ilham kaynağı da çelik akciğerin çalışma prensibi de temel bir fizik yasası olarak akışkanların basıncı prensibiydi. Bu prensibe göre akışkan madde basıncın yüksek olduğu kısımdan düşük olduğu kısma doğru hareket halindedir. Çelik sistemin dışında kalan burnumuzun bulunduğu bölgedeki yüksek basınca sahip olan hava içerideki akciğerlerimizin bulunduğu düşük basınca sahip olan bölgeye doğru akacaktır. Bu çalışma sistemi negatif basınçlı ventilatör sistemlerinin atası olarak bilinmektedir (Üstündağ, 2009) Daha sonra pozitif basınçlı ventilatörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Pozitif ve negatif basınçlı ventilatörlerde amaç vücudun ihtiyacı olan havayı dışarıdan almak ve dışarıya karbondioksiti bırakmaktır. Negatif basınçlı ventilatör ile pozitif basınçlı ventilatör arasındaki farkı anlamlandırmak için şu örneği verebiliriz. Kutu meyve suyunu içmek için pipet kullanırız bu pipet ile meyve suyu kutusunu delip içmek istersek iki farklı şekilde içebiliriz amaç meyve suyunu içmektir.

Birinci yöntem pipetin içindeki havayı kendimize doğru çekerek meyve suyunu içebiliriz, ikinci yöntem ise pipete hava üfleyerek meyve suyunu içmektir. İşte birinci yöntem negatif basınçlı ventilatörün çalışma prensibini ikinci yöntem ise pozitif basınçlı ventilatörün çalışma prensibini özetlemektedir. İlk yöntemle meyve suyunu içtiğimizde daha fazla zaman aldığımızı göreceğiz ikinci yöntemle meyve suyunu içmek daha az zaman alacaktır. Zamana karşı bir yarış içerisinde olduğumuzdan ötürü hastanelerin çoğunda ileri teknoloji dijital pozitif basınçlı ventilatörleri daha çok tercih edilmektedir (Ankaralı, 2020).



Şekil 2. Dijital ventilatör sistemi

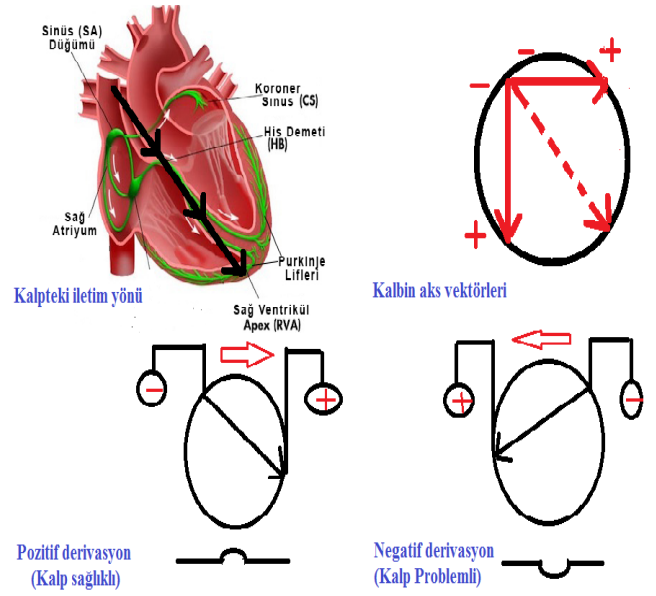
Görüldüğü üzere ventilatörlerin çalışma prensibi değişmemektedir. Belki ileride mikroçiplerin gelişmesine bağlı olarak transistörlerin iletim mekanizmasına benzer nitelikten burun içerisine yerleştirilen hassas nano ventilatörleri kullanıyor olacağız (Li vd., 2018). Özellikle mikroakışkan ciplerin biyomedikal cihazlara entegre edileceği sistemler geliştirilerek alt ve üst solunum yollarında ciddi rahatsızlığı olanların tedavisinde önemli başarıların elde edileceği öngörülmektedir. Böylelikle kolay, çabuk duyarlılığı yüksek en önemlisi taşınabilir cep telefonu ya da tablet boyutlarındaki solunum cihazlarının yaygın bir şekilde tedavide kullanılacağına şahit olacağız (Sackhman, 2014). Görüldüğü üzere fizik bilimi ile uğraşan bilim insanları ile sağlıkçıların ortak çalışmaları sonucunda ilerleyen zamanlarda insanlığın hizmetine birçok biyomedikal cihaz sunulacaktır.

### 3. Elektrokardiyogram İletim Mekanizması

Kalp, vücudun bütünsel ve bölgesel akım gereksinimlerini karşılamak için yeterli kanı pompalamakta görevli organdır. Bu etkinliği farklı düzenlemeler ve denetimlerle yapmaktadır (Birand, 2008). Kalbin en önemli özelliği elektriksel iletim mekanizmasıdır. Kalpte meydana gelen elektriksel değişimler tüm vücut için hayati önem arz etmektedir. Bu elektriksel etkinlikleri takip etmemiz ve yorumlamamız sağlığımızın gidişatı hakkında hekimlere ciddi bilgiler sunmakta ve böylelikle ilerleyen süreçler için yol haritası oluşmasına katkı vermektedir (Doshi ve Guicidi, 2015). Bu ise kalpte meydana gelen elektriksel faaliyetleri işleyen Elektrokardiyogram(EKG) cihazı ile yapılmaktadır. Kalbin her atımında sinüs boğumundan çıkan elektriksel sinyal özel bir ileti yoluyla vücuda yayılır. Vücuda takılan elektrotlar yardımıyla ortaya çıkan elektriksel akımlar yükseltilerek kayıt altına alınır. Takılan elektrotlar sayesinde elektrotlar arası elektrik potansiyeli farkı tespit edilerek potansiyel fark ölçümleri yapılmış olur. Her bölge için ayrı ayrı alınan ölçümlerin değişik değerdeki potansiyel farklılıklarına “derivasyon” denir. Derivasyonlardan elde edilen değerler yorumlanarak kalbin uyarı merkezinin yeri belirlenir. Bu çok önemlidir, çünkü uyarı merkezinin yerinin tespit edilmesi ile uyarı merkezinden çıkan uyarılar ile kalp kasının kasılması, ileti yolları ve daha sonra kalp kasının kasılmasıyla bir kardiyaksiklus tamamlanır. Böylelikle kalbin ritmi hakkında bilgi sahibi olunur (Sumner, 2012). Karıncık ve kulakçıkların kasılma periyodu kolaylıkla incelenir. Bu bilgilerden yola çıkılarak tanı konulup tedavi süreci başlatılabilir. Bu bilgiler ışığında karıncık ve kulakçıklarda kalınlaşma ya da büyüme olup olmadığına karar verilebilir. Kalp kasında herhangi bir beslenme bozukluğu olup olmadığı anlaşılır. Kalp kası korenar damarlardan beslendiğinden ötürü korenar damarlarda yetmezlik olup olmadığı kanısına varılabilir (Clifford, 2006). Bunlara ilaveten kalpte iletim ve ritim bozukluğu olup olmadığı, hastanın kullandığı ilaçların kalbe etkisinin ne düzeyde olduğu veya kalp pili kullanan bireyin kalp pilinin işlevini yerine getirip getirmediği tespit edilebilir (Doğu vd., 2014). Bunların tamamı fizik ve elektriğin temel kavramı olan voltajın zaman içindeki değişiminin incelenmesi ile gerçekleşir. Voltajın zaman içindeki değişimini anlamak için yük değişimini ve polarizasyon kavramını enine boyuna incelememiz gerekmektedir. EKG, istirahat durumundaki hücreleri + yüklü görür. Şekil 3’te görüldüğü üzere ilk aşamada hücreler üst kısımdaki

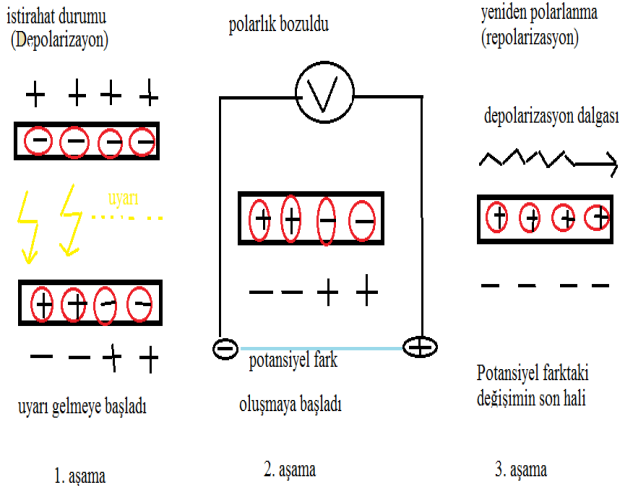


gibi görünür biz bu duruma depolarizasyon diyoruz. Daha sonra herhangi bir uyarıya bağlı olarak polarlıkta bozulma baş gösterir böylelikle – ve + yükler arasında bir potansiyel fark oluşmaya başlar. Bu ilk durumun tam tersi oluncaya kadar devam eder (Hall, 2014). İlk durumundakinin tam tersi hal aldığındaki potansiyel fark değişiklikleri gözlemlenir en son ise repolarize olduğunda ise bir depolarizasyon dalgası oluşur. Bu depolarizasyon dalgası bize süreç hakkında bilgi verir. Bu dalga – yönden + yöne olduğunda pozitif derivasyon tam tersine ise negatif derivasyon olarak isimlendirilir. Biz ise derivasyonların yardımıyla hücre dışında meydana gelen değişimleri inceleyerek ileti sistematüğını tayin ederiz. Kalbimizdeki elektriksel yönelim sinir ağlarının yerleşim örüntüsünden dolayı sol üstten sağ aşağı doğrudur. Kalbin bir bölümünde meydana gelen herhangi bir hasarda kaslar artık uyarılma yeteneğini kaybedecek ya da uyarılmada aksaklıklar meydana gelebilecek bu durumlarda ileti mekanizmasında problemler oluşacak. Bu durumlarda aks bozulacak normalde pozitif derivasyona sahip olan kalp, problemde otürü negatif derivasyon sergileyecek böylelikle bizde kalpte problem olduğunu tespit edip müdahalede bulunacağız. Tüm bunları sağlayan elektriksel ileti yönü tayin etmemiz ve kalbin aks vektörlerini belirlememiz mümkün olacak. Kısacası EKG bize voltajın zaman içerisindeki değişimiyle ilgili bilgi verecektir (Cömert ve Kocamaz, 2015).



Şekil 4. Kalbin ileti mekanizması ve aks vektörleri

Şekil 4’te de görüldüğü üzere uyarının başladığı sinüs düğümü – uç olarak iletinin sonlandığı kısım + uç olarak ele alındığında – uçtan + uca bir potansiyel farkı meydana gelmektedir. İleti kalp kulakçıklarının depolarize olmasıyla başlar akabinde kasılma meydana gelir ilerleyen sinyal yavaşlar ve daha sonra karıncıklar depolarize olur. Karıncık depolarizasyonu kulakçık depolarizasyonuna göre daha hızlıdır. Çünkü kulakçıklar küçük çaplı kalsiyum kanallarını kullanırken karıncıklar daha geniş çaplı olan sodyum kanallarını kullanır. Karıncık depolarizasyonu esnasında kulakçıklar repolarize olur. Karıncık repolarize olduğunda repolarizasyon depolarizasyona göre daha yavaş olduğundan daha geniş dalga oluşur. Kalpteki bu depolarizasyon ve repolarizasyon ya da hiçbir etkinin oluşmadığı nötr durumun seyrinin zaman içerisindeki değişimi dalgalanma grafiği olarak çıktılar elde etmemizi sağlar (Gupta ve Mitra, 2014). Tıpkı hayatımızda iniş çıkışların olduğu gibi ana yaşam ünitesi konumunda olan kalbimizde de iniş çıkışlar çizgileri kalbimizin sağlığı hakkında bizlere bilgiler sunmaktadır. Bu bilgilere göre sağlık çalışanları kalbimizin durumu hakkında tıbbi bilgileri bizlere aktarmaktadır.



Şekil 3. Kalpteki uyarıya bağlı olarak polarlıkta meydana gelen değişim

Kalpteki ileti Şekil 4’te görüldüğü üzere sol üstte bulunan sinüs düğümünde(SA) başlayıp sağ alt köşedeki Ventriküler kısmında sona erer.

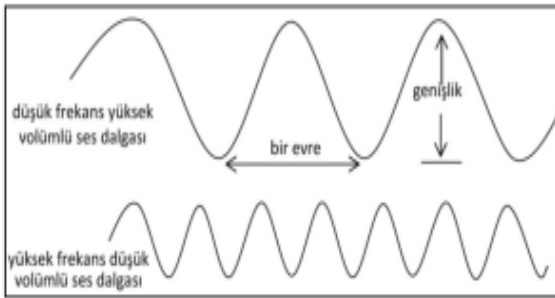
#### 4. Dalga Mekaniğine Göre Çalışan Cihazlar

Ultrasonografi, Vücudun yüksek frekanslı ses dalgalarına maruz bırakılması sonucunda farklı doku yüzeylerinden gelen yansımaların meydana getirdiği etkiler saptanması esasına dayanmaktadır. İnsan kulağının işitemeyeceği ultra düzeydeki frekansa sahip ses dalgalarının kullanılması esastır. Kullanımının basitliği ve iyonize radyasyon riskinin

olmaması dolayısıyla çokça tercih edilmektedir (Akgünlü ve İçöz, 2016). Bilhassa hassas yapıya sahip yumuşak doku örnekleri ile parankimal özelliğe sahip organların incelenmesinde temel tanı yöntemi olarak kullanılır. Yöntemin ana omurgasını ses dalgaları oluşturur. Ses dalgalarının oluşması için ortama ihtiyaç vardır. Ses boşlukta yayılmaz. Burada fizikte kullanılan

$$V = \lambda * f \quad (4.1)$$

formülü mekanizmanın işleyişi hakkında bilgi vermektedir. V parametresi hız (m/sn) eşittir, f parametresi ses dalgasının (1/sn) frekansı ile  $\lambda$  parametresi dalga boyunun (m) çarpımı şeklinde ifade edilir. Ultrasonograf (USG) yüksek frekanslı ses dalgası ile çalıştığından, frekansın artışına bağlı olarak dalga boyu kısaltılmakta böylelikle çözünürlük (rezdüsyon) ile absorpsiyon (emilim) artacaktır. Absorpsiyonun artışına bağlı olarak ters orantılı olarak penetrasyon (derinlere nüfus etme) özelliği azalacaktır. Ses dalgaları ortamın değişmesine bağlı olarak farklı hızlarda yayıldığından, hız iletimi ise ortamın sahip olduğu sıkıştırılabilirlik özelliği ile yoğunluk gibi birtakım fiziksel değişkenlere bağlıdır. Sıkıştırılabilirlik ve yoğunlukla ses hızının iletimi ters orantılı orantılıdır. Yoğunluğu fazla olan ortamda ses daha yavaş bununla birlikte sıkıştırılması zor olan ortamda da ses yavaş ilerlemektedir Şekil 5'te gösterildiği gibi. Örneğin katıların yoğunluğu fazla ve sıkıştırılması zor olduğundan ses katı maddelerde daha yavaş hareket eder (Orloff, 2008).



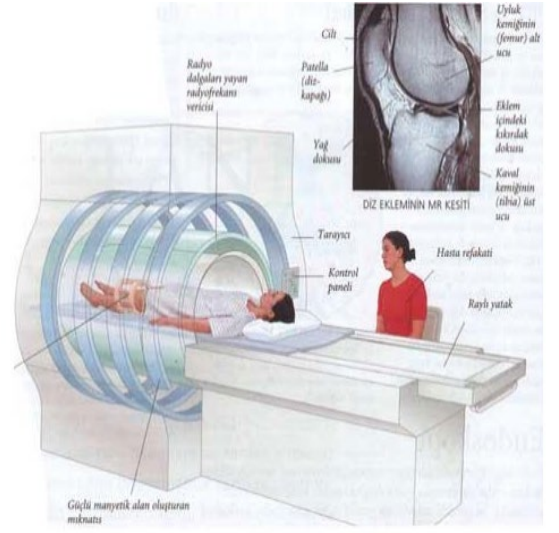
Şekil 5. Ses dalgasının farklı ortamlarda ilerlemesi

Ses havada yaklaşık olarak 350 m/s hızla hareket etmektedir. Fakat kemik hariç insan dokuları sıvı gibi düşünüldüğünde bu yumuşak dokularda ses hızı hemen hemen aynı yani 1530 – 1550 m/s aralığındayken daha sert olan kemik dokularda ise 4000 – 4100 m/s aralığında hızlarda hareket etmektedir. Görüldüğü üzere farklı ortamlarda sesin ilerleyişindeki değişim ile tanı konulmasına yardımcı olmaktadır. Bir böbrek taşının tespitinde böbrekteki su içerisinde ilerleyiş eğer böbrekte taş

var ise aniden değişime uğramaktadır. Bu değişim ortamda farklılığın olduğundan kaynaklı yorumu yapılarak gerekli tanı konulmasında yardımcı olmaktadır. Ses dalgası sıvı içerisinde ilerlerken katı bir cisimle karşılaşmakta ses dalgasındaki değişim yorumlanmaktadır. Bu temel prensip anne adaylarının karın bölgesindeki bebeklerinin sağlıklı olup olmadığını hakkında bilgi edinmek için kullanıldığı gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Özdemir, 2018).

USG ses dalgaları 2Mz ile 10 MHz aralığındadır. Böyle ultra frekansa sahip ses dalgaları üretilebilme amacıyla piezo elektrik olayından yararlanılır. Bu olay, quartz kristallerinin mekanik ve elektrik enerjilerinin birbirine dönüştürülmesidir. Enerjinin dönüştürülmesi için Transducerlerden faydalanılır. Transducerlerin önyüzüne çok yakın mesafede yerleştirilmiş olan kristale voltaj uygulanmasıyla elektrik enerjisinin kristal yapıda meydana getirdiği genişleme – daralmaya bağlı olarak mekanik enerjiye çevrilmesine neden olmaktadır. Böylelikle ultra ses dalgaları ortaya çıkmaktadır. Meydana gelen bu etkileşime piezo elektrik ( basınç elektrik) etkileşimi denilmektedir. Bu etkiden faydalanılarak piezo elektrik materyaller dizayn edilmiştir. Piezo elektrik materyaller farklı geometrik boyutlarda tasarlanmış birçok dipolden oluşmaktadır. Bu elektrik dipoller bir kutbu artı(+) yüklü, diğer kutbu ise eksi(-) yüklü olup çok hassas moleküler bir yapılarıdır. Pozitif ve negatif kutuplar öyle tasarlanmıştır ki, elektrik alan uygulandığında alana bağlı olarak yeni yönelimlere neden olmakta ve dolayısıyla kristalin boyunda değişimler meydana gelmektedir (Çalışır ve Akçay, 2020). Bu olaylara bağlı olarak meydana gelen ultra ses transducerler aracılığıyla tespit edilmektedir. Transducerler, ses dalgasını oluşturan ve tekrar geriye toplayan aygıtlardır. Yüksek frekanslı sesin üretilmesi, dokulara yönlendirilmesi, yansıyan ses dalgalarının tespit edilmesinden ve bu sesin elektrik sinyallerine dönüştürülmesinden sorumludurlar. Transducerdeki en işlevsel parça ise bu görevi üstlenen kristallerdir. Bundan ötürü genellikle kurşun zirkonat titonat seramiği tercih edilir. Transducerin ön yüzeyine yakın yerleştirilen kristale uygulanan voltaj sonucunda mekanik olarak sıkıştırılıp – genişletilmesi sağlanmakta ve netice itibarıyla yapıdaki fiziki değişime bağlı olarak ultra ses dalgaları oluşmaktadır (Gautschi, 2002). Oluşturulan ses dalgaları dokulara yönlendirilmekte ve yansımalarının transducere dönmesi ile kristal yapıda kompensiyon etkisi ile voltaj farklılığı meydana gelmekte, bu farklılıkta elektriksel

sinyallerde değişime yol açmaktadır. Fakat beraberinde absorpsiyonda artış ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak penetrasyon düşmektedir. Bundan ötürü yüzeydeki doku araştırmalarında yüksek frekans kullanımı tercih edilirken daha iç kısımdaki doku araştırmalarında biraz daha düşük frekansların kullanımı söz konusu olmaktadır. Bir ultra ses transduceri bazı frekans aralıklarına karşı üst düzey hassasiyet sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Pizo elektrik kristalin yapının kalınlığı, kristal yapının rezonans frekansı diye adlandırılan doğal frekansını belirlemektedir. Kristal yapının kalınlığındaki artış daha alçak frekansların üretilmesi anlamına gelir. USG görüntülemesinde frekansta değişiklik yaparak istenilen frekansla uyumlu farklı transducer tercih edilir. USG de kilit rol frekans ayarlamada ana eleman olan transducerlere aittir (Hill vd, 2014).



Şekil 6. Manyetik rezonans cihazı

Manyetik Rezonans (MR), İyonlaştırıcı olmayan radyo frekansı kullanılan bir yöntemdir. Bir manyetik alan içine konumlandırılan vücudun belirli bir bölgesinin görüntüsüne ulaşmak amacıyla sıklıkla kullanılır. Temelde manyetizma ilkelerine dayanmaktadır. Manyetik alana maruz bırakılan altında atomik yapıların manyetik alan doğrultusunda yönelmesi dolayısıyla atomik yapıların belli frekanslarda salınım yapması olayıdır. Radyo dalgalarına maruz bırakılan atomik yapıların belirli frekanslarda dalgaları tekrar yansıtması sonucunda MR cihazında görüntü oluşacaktır (Shang et all, 2012). Şekil 6'da gösterilen MR cihazının bünyesindeki güçlü mıknatısların etkisiyle meydana gelen manyetik etki insan vücudundaki atomların çekirdeklerine etkiyerek atomları titreşime zorlayacak alanlar oluşturacaklardır. Titreşim yapan atomların üzerlerine gönderilen radyo frekansları atomların salınım yapmalarına neden olacaktır. Meydana gelen salınımlara bağlı olarak atomlardan radyo dalga yayılımı gerçekleşecektir (Ayhan, 2020). Ortamda yayılan dalgaların yorumlanması bilgisayar sistemleri kullanılarak yapıp sonuçta hareketli veya durağan üç boyuta sahip görüntülerin elde edilmesini sağlanacaktır.

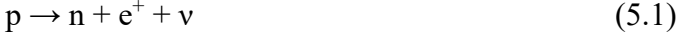
Aslında Vücutumuzun büyük bölümü yağ ve su moleküllerinden meydana gelmektedir. Bu moleküler yapıların büyük kısmı hidrojen atomları barındırmaktadır. Bundan dolayı hücre sıvısı içeriği ile yağların yapısında çokça hidrojen çekirdeğinin yoğunluğunun dağılımında çekirdek hareketlerini ilgilendiren parametreler kullanılır. Özellikle yumuşak dokuların incelenmesinde çokça tercih edilen bir yöntem olduğu bilinmektedir. Lezyonlar hakkında daha detaylı bilgi edinilmek istendiğinde radyo frekans pulsunun uygulama şeklinde değişikliklere gidilerek çeşitli dokular arasındaki kontrastın artırılmasını sağlaması önemli bir artı özelliğe sahiptir. Yumuşak yapıdaki dokuların kontrast çözülme gücü açısından üst düzey radyolojik tanı yöntemi olduğundan sağlık alanında fazlasıyla tercih edilmektedir (Budak ve Bozkurt, 2013).

## 5. Işıma Prensibine Göre Çalışan Cihazlar

Pozitron emisyon tomografi (PET), emisyon tekniğini kullanarak görüntü elde edilmesini sağlayan bir yöntemidir. Hastaya enjekte edilen düşük doza sahip radyoaktif maddelerin çekirdeklerinin yaydığı gama ışınlarının algıları. Böylelikle ışınların vücudun içindeki dağılımlarını tespit edip üç boyutlu görüntüye dönüştürür. Bu yöntem bilinen en ileri nükleer tıp metodudur. PET yönteminin temelinde radyoaktif özelliğe sahip pozitron yayabilen yapılar yatmaktadır. Bu yapılar içerisinde Flor-18 (F-18), Carbon-11 (C-11), Azot-11 (N-11) ve Oksijen-15 (O-15) çokça tercih edilen pozitron kaynaklarıdır. Bu kaynaklara dikkatli bakıldığında nötr haldeki atom numaralarında bir eksik olduğu görülür, bunun nedeni bir yükün



pozitrona dönüşecek olmasıdır. Radyoaktif özelliğe sahip çekirdekler kararlı yapıya sahip olmak için bozunurlar (Taylor vd., 2008). Bozunma esnasında pozitif yüklü proton, yüksüz nötron ile pozitif yüke sahip olan elektrona dönüşmektedir. Bu olaya biz çekirdeğin pozitron fırlatması olarak da isimlendiririz. Bu reaksiyon şu şekilde gösterilir;



çekirdek tarafından fırlatılan pozitron ortamda kısa bir süre ilerledikten sonra başka bir atomun elektronu ile çarpışır. Artı yüke sahip pozitron ile elektronun çarpışması ile iki kütlede yok olmaktadır. Yok oluşun sonucunda kütleler ise enerjiye dönüşmekte ve birbirleriyle zıt yönde harekete sahip yaklaşık olarak 511keV enerjideki iki gama ışını oluşur.



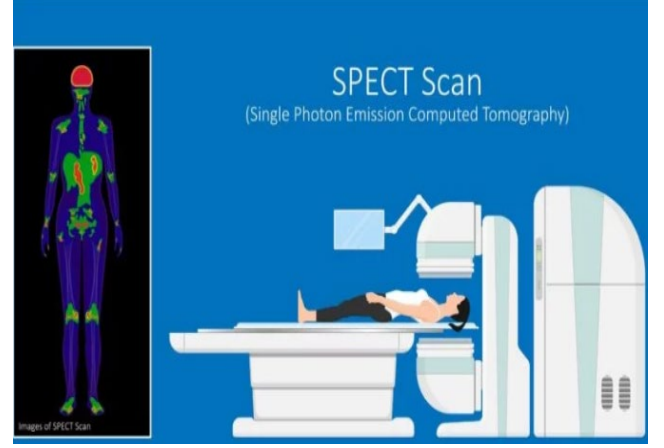
denklemden belirtildiği gibi oluşan gama ışınları tespit edilerek görüntüye dönüştürülüp tanı ve tedavi de kullanılır (Şahraman ve Bayburt, 2020).

PET, sisteminde direk doğrudan organa verilen radyoaktif madde ile tomografik görüntüler elde edilmeye çalışılır. Tek foton ışın yapan bilgisayarlı tomografi (SPECT) sisteminde ise görüntüler genellikle damarlar, ana arterler ve onlara çok yakın olan dokuların fizyolojisini görüntüleyebilmek için tercih edilir. SPECT bir ya da iki adet geniş dedektör bulunmakta iken; PET sisteminde boyutları daha küçük dedektörler bulunmaktadır. Bu dedektörlerin görevi tespit ettikleri her bir pozitron ışınma sinyalini görüntü oluşturması için ana sisteme iletmektir. Ana sisteme iletilen pozitron sinyalleri görüntüye dönüştürülerek PET çıktısı elde edilir. PET Şekil 7'de belirtildiği üzere bünyesindeki küçük dedektörlerden ötürü dokunun kesitsel görüntüsünü oluşturur.



Şekil 7. PET görüntüleme sistemi

Bu sayede bir organın neredeyse tamamının radyoaktif etki altındaki davranışını görüntüleyebilme kabiliyetine sahiptir. Bu durum SPECT sisteminde gözlenmez ama Şekil 8'de görüldüğü gibi SPECT sistemi de bünyesindeki devasa dedektörler sayesinde tüm vücudu ya da vücudun büyük bir bölümünün görüntüsünü elde etmede çok başarılıdır (Kara ve Işık, 2019).



Şekil 8. SPECT görüntüleme sistemi

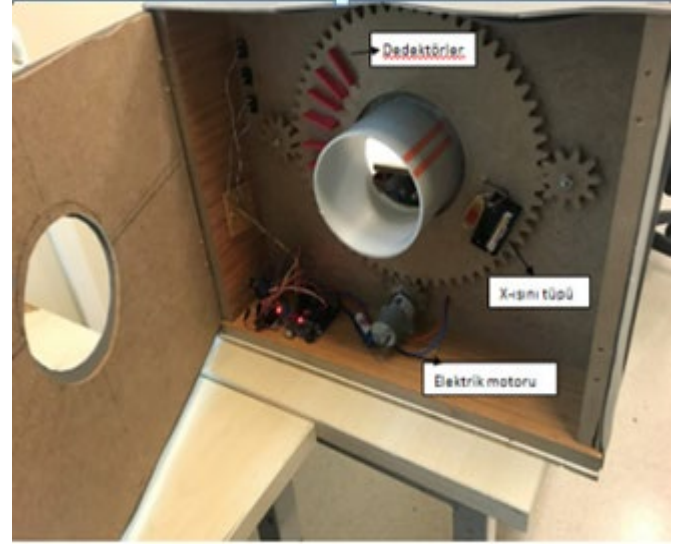
SPECT taraması esas olarak beyin, kalp veya kemikle ilgili bozuklukları teşhis etmek ve izlemek için yapılır. Beyin nörogörüntüleme, hafıza kaybı, nöbet, beyinde kan pıhtılaşması, inme veya beyin hasarı veya epileptik atak geçirdiyse beyin hangi bölümünün etkilendiğini tespit etmeye yardımcı olur. SPECT taraması, kan akışının yönü ve hacminin görüntülerini alabilir. Kardiyak görüntüleme kalbin çeşitli yöntemlerle non-invaziv olarak görüntülenmesini sağlar. Bu nedenle, kardiyak verimlilikteki herhangi bir değişikliği tespit etmek için kullanılır. Kalbin tek bir kasılmada pompalayabileceği kan miktarını ve kalp odalarında kalan miktarı belirler. İskelet görüntüleme: SPECT, kemikte metastazı (kanserin ilerlemesini) saptayabilir. Ayrıca, normal bir röntgen görüntülemesinde görünmeyen çok küçük kemik kırıklarını tespit etmek için de kullanılır. Bu kırıklara gizli kırıklar denir. Ayrıca kemik üretimi veya iyileşme alanını da gösterir. Kemik kanseri dışında küçük kırıkları, stres kırıklarını, spinal tümörleri ve kemik enfeksiyonlarını tespit edebilir (Love ve Palestro, 2016). SPECT, Görüntüleme tekniği genellikle çoğu kişi için güvenlidir. Bununla birlikte, radyoizotopların enjeksiyonu bazı kişilerde alerjik reaksiyonlara neden olabilir. Ayrıca enjeksiyon yerinde şişlik, ağrı ve kanamaya neden olabilir. Ancak kullanılan radyasyon miktarı çok azdır ve bu nedenle uzun vadeli sağlık risklerine neden olmaz (Song vd., 2019).



Bilgisayarlı Tomografi(BT), X ışın kaynağı tanısı konulacak hastanın etrafında tam tur çembersel hareketler gerçekleştiren “gantry” boyunca sıralanmış dedektör sistemleri yardımıyla X ışın demetinin vücuttan geçmiş olan kısmını saptayarak elde ettiği verileri bilgisayar ortamına aktarılır. Böylelikle dokuların arka arkaya sıralı şekilde kesitsel görüntüsü elde edilir. Röntgen filmlerinin elde edilmesinde X ışınlarının vücuttaki dokulardan geçmesi esnasında dokunun yapısına bağlı olarak enerjileri yitirmesine prensibi ile çalışmaktadır. Dokunun film üzerine farklı gri tonlu görüntülerin oluşmasını sağlar. Bu prensibin benzeri BT çekimlerinde de kullanılır iyonize X ışınlarının enerjilerini kaybetmesine bağlı olarak görüntüsüne bilgisayar aracılığıyla ulaşılır. X ışınları yüksek hızlı elektronların büyük atom numarasına sahip metallere bombardıman edilmesi sonucu açığa çıkar. X ışınları havası boşaltılmış röntgen tüpünde katot ile anot arasına uygulanan yüksek voltaj sonucunda elektronların ivmelenmesi ile elde edilir (Özdede ve Paksoy, 2019). İvmelenen yüklü parçacıkların enerjilerinde kayda değer bir artış meydana gelmektedir. De borlie dalga boyu formülünde,

$$P = h / \lambda \quad (5.3)$$

İfade edildiği üzere enerjisi artan parçacıkların enerjileriyle doğru orantılı olarak frekansları artmakta ve bununla ters orantılı olarak ise parçacık dalga boyu azalmaktadır. Doğal olarak X ışınlarının ve  $\gamma$ (gamma) ışınlarının enerjileri yüksek ama dalga boyları düşüktür. Bu ışınların dalga boyları atomik boyuttan daha küçük olduğundan çekirdek ile elektronların arasındaki boşluktan geçerek maddenin diğer tarafına ulaşabilmekte böylelikle görüntü eldesine fırsat tanımaktadır (Scarfe at all, 2018). Şekil 9’da Bilgisayarlı tomografi cihazının iç yapısı gösterilmiştir. BT içyapısı kabaca X ışın tüpü, dedektörler ve motor ekipmanlarından oluşur.



Şekil 9. Bilgisayarlı tomografinin iç yapısı

PET-BT, Bilgisayarlı tomografi ile PET sistemlerinin harmanlanarak beraber kullanımına dayanan tanı koymada çok işlevsel olan bir yöntemdir. Kanserin nerede gerçekleştiğini bulmada ayrıca ana kaynaktan kanserin nereye metastazının olduğunu belirlemede tercih edilir. Tedavi sonrası kanserin seyri hakkında bilgi verir ayrıca kanserin yenileyip yenilemediği, kalp krizleri, bölgesel tümörlerin tespitinde kullanılmaktadır. Kökeninde nöbet olan hastalıkların açığa çıkarılmasında, epilepsi cerrahisi, Parkinson hastalığı gibi birçok hastalıkta kullanılan bir tanı yöntemidir. PET MR çağımızda çokça görülmekte olan kanser vakaları, Demans hastalığı ve beyin tümörleri gibi çoğu hastalığın tedavisinde kullanılan PET ile MR görüntüleme tekniklerinin birleşiminden meydana gelen bir yöntemdir. Fark edilmeyecek kadar minik düzeydeki kanserli hücreleri tespit etmek için bu yöntem sıklıkla başvurulur (Yang vd., 2016).

## 6. Diğer Biyomedikal Cihazlar

X ışın prensibine göre çalışan birçok biyomedikal cihaz bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi Floroskopi cihazıdır. Geleneksel röntgen yönteminin yetersiz kaldığı, özellikle kolon ve sindirim sistemi dokularının net görüntülenmesinde ayrıca hastalık lezyonları ile tümörlerin hangi düzeyde olduğu bilgisini elde etmemizi yardımcı olur. İncelenen doku X ışın tüpüyle limitli radyasyona maruz bırakılır. Tüpün karşısına yerleştirilen X ışın kamerası ile gelen ışınlar tespit edilir. Floroskopi sekaslarının opak madde aracılığıyla yapılır. Hastaya verilen örneğin Baryum gibi maddeler X ışınının geçmesini engellerken bazı dokuların görünür bazılarını ise görünür olmayan hal almalarını sağlayarak lezyon hakkında bilgi verir.

Şekil 10'da görülen Mamografi cihazında da buna benzer bir sistem işlemektedir. İncelenen dokunun ince olması nedeniyle limitli bir X ışını uygulanır. Böylelikle göğüste hastalık lezyonları tespit edilmeye çalışır (Günay ve ark, 2019).



Şekil 10. Mamografi cihazı

Anjiyografi cihazı da konvansiyonel röntgen prensibine göre çalışmaktadır. Vücuttaki tüm damaların içine yüksek yoğunlukta bir madde verilerek görüntü elde edilir. İstenen damar içine özel olarak geliştirilmiş kateter adı verilen ince bir tüp sistemi ile girilerek kontrast madde verilmekte ve bu esnada seri şekilde görüntü alınmaktadır (Quinn vd., 2012).

Kemik mineral densitometre cihazı, Kemik erimesi hastalığının (osteoporoz) teşhis ve izlenmesinde kullanılır (Akpolat, 2008). İki farklı Dalga boyuna sahip genelde 100kVp ya da 140kVp dalga boyları tercih edilmektedir. Bu dalga boylarında hastanın kemiklerine röntgen ışığı gönderilerek kemik yapının ışınımları emilimindeki farklılıklar tespit edilir. Farklılıklar kaydedilerek değerlendirmeler yapılarak kemik yapıdaki mineral madde miktarı ile yoğunluğu bulunur böylelikle gerekli değerlendirmeler yapılarak kemik erimesinin düzeyi net olarak ortaya çıkartılır (Sürücü, 2002). Bilindiği üzere geleneksel röntgen cihazlarının temel çalışma prensibi fizik ile açıklandığında buna karakteristik radyasyon denir ve birçok medikal cihazın temelini oluşturur. Karakteristik radyasyon, belirlenmiş olan hedef atoma gönderilen elektronların hedef atomun yörüngesinde bulunan elektronlarla etkileşimleri sonucunda aldıkları enerjiyle daha üst enerji

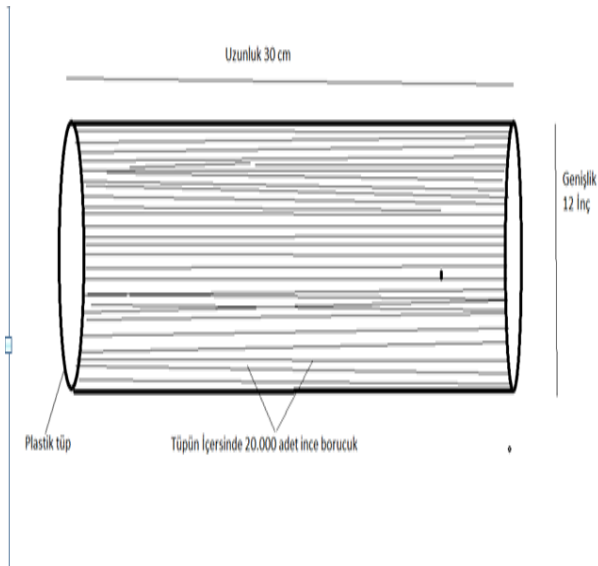
seviyelerine çıkarlar. Kararsız durumda olan bu enerji seviyeleri bozunuma uğradıklarından seviyeler arasındaki enerji farkı kadar dışarıya foton salınımı yaparlar. Bu karakteristik radyasyon olarak tanımlanır bunun dışında Bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu olarak nitelendirilen radyasyonda ise elektron demeti hedef atomun çekirdeğine yaklaşmasıyla çekirdeğin bünyesinde bulunan pozitif yüklerinden dolayı oluşan elektrik alandan etkilenecek ivmeli hareket yapmaya zorlanır böylelikle etrafa foton yayar. Sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sürekli X ışınları bu olaya ise frenleme radyasyonu denilmektedir. Yukarıda bahsettiğimiz X ışın kaynaklı cihazların büyük çoğunluğu fizikte çokça bilinen bu iki prensibe göre çalışmaktadır ( Dişli, 2019).

Temel Fiziğin ana konusu olan ışık ve ses dalgalarının özellikleri göz önüne alınarak tasarlanmış olan cihazlardan MR, USG, BT ve X-ray tanı amaçlı kullanılırken, teşhis amacıyla Gamma (SPECT) ve PET cihazları kullanılır. Anjiyografi ise hem tanı hem de teşhis amaçlı kullanılmaktadır. Bu cihazlar. Çalışma prensipleri de ışık ve ses dalgalarının etkilerine göre şekillenmiştir.

Bahsettiğimiz cihazlara ek olarak Diyatermi cihazı, genelde cerrahi operasyonlarda tercih edilmekte olan bir cihazdır. Yüksek frekanslı elektrik akımları iki elektrot kullanılarak hastanın içinde geçirilir. Bu iki elektrottan biri pasif elektrottur. Pasif elektrot geniş plakalı olup nemli olarak hastanın bacağına kayış ile bağlanır. Pasif elektrotta göre plakaları küçük olan aktif elektrot ise dokuya temas için kullanılır. Kullanılan elektriğin yoğunluğuna bağlı olarak akım geniş bir alan üzerinde geçerse oluşan ısı minimal düzeyde olmakta fakat küçük bir noktada olursa ısınır ve dokuda tahribi etkisi gösterir böylelikle dokunun alt katmanlarına cerrahlar tarafından müdahale edilerek ameliyatlar kolaylaşır (Polat ve ark, 2019).

Son olarak da önümüzdeki yıllarda dünya genelinde yaşanılacağı varsayılan su sıkıntısı ve böbrek yetmezliğinin yaygın olarak görülmesi nedeniyle hemodiyaliz cihazlarını ele alalım. Hemodiyaliz cihazları ise fazla suyu ve toksinleri vücuttan uzaklaştırır. Böbrekler hormon üreterek mineral ve kan basıncı dengesini sağlar. Buna ek olarak böbrekler D vitamini üreterek asit-baz değişimini ve dengesini kontrol eder. Tüm bu işlemleri günde yaklaşık olarak 300 defa tekrar eder. Böbrekler görevini tam olarak yerine getiremediğinde böbreğin görevini yerine getirecek ve benzer nitelikte hemodiyaliz cihazları devreye girer (Yılmaz vd.,

2013). Bu cihazların ana elemanı olan diyalizörlerdir. Diyalizör yapay böbrek olarak da adlandırılmaktadır. Aşağıda Şekil 11’de diyalizörün (Diyaliz filtresinin) resmi gösterilmektedir. Metabolik toksinler ve fazla su bu tüplerdeki mikroskobik yüzeyler aracılığıyla kandan uzaklaştırılır oluşan kirli su ise diyalizörden dışarıya atılır. Temel çalışma prensibi fizikteki maddelerin yoğunluk farkından yararlanılarak ayrıştırılması kuralına dayanmaktadır. Yoğunluğu fazla olan toksinler ve atıklar alt kısımlarda birikip yakalanmakta daha sonra arta kalan su ise diyalizörden dışarıya atılmaktadır. Bundan ötürü diyaliz makinelerin temizlenmesine dikkat edilmelidir. Temizlik işlemi sırasında sitrikasitin çözme etkisinden ötürü tercih edilir böylelikle bakterisit ve kan pıhtılarının mikrobik etkileri ortadan kaldırılır. Tüm cihaz ve su girinti patları ise hipoklorik asitle iyice temizlenir. Hipoklorik asit ucuz ve kolay temizleme etkisinden dolayı tercih edilir. Ayrıca formaldehitler aşındırıcı etkisinden dolayı temizlikte tercih edilir. Karbon filitrelerin temizlenmesinde ise bikarbonat çözücüler kullanılır (Tenekeci ve Belgüzar, 2016).



Şekil 11. Yapay Böbrek olarak bilinen diyalizörün ana maddesi olan filtre sistemi

## 7. Sonuçlar

Hastalıkların çoğunun tanı, tedavi ve teşhisinde sağlık çalışanlarının işini kolaylaştıran kısa zaman içerisinde detaylı bilgiler edinilmesini olanak sağlayan biyomedikal cihazlar artık sağlıkta vazgeçilmez olarak görülmektedir. Özellikle 2019 yılında baş gösteren COVID salgınından sonra bu cihazların üzerine daha fazla çalışılacağı düşünüldüğünden genel bilgileri ve fizik alt yapıları incelenmiştir. Biyomedikal cihazlar İnsan hayatını

kolaylaştırmanın yanında ayrıca gelecekte toplumların sağlıklı bir yaşam sürmelerine katkı sağlayacağı geçmişteki tecrübelerle görüldü. Geçmişten günümüze biyomedikal cihazların kullanılması ve yapılan uygulamaların hastaların sağlığına kavuşmalarında olumlu etkileri olduğu bilinen bir gerçektir. Bu bağlamda çalışmamızın temel amacı; en azından azami ölçüde biyomedikal cihazların işleyişinde bilgi sahip olunması ve cihazların çalışma sistematığının teorik olarak bilinmesi önem arz ettiği üzerine duruldu. Böylelikle biyomedikal cihazların geliştirilmesi daha kolaylaşacak ve çalışma sistematığının temel argümanları hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Bir adım ötesi ise daha portatif ve işlevsel cihazlar geliştirilebileceği üzerine tartışma

## 8. Kaynaklar

- Akgünlü, F., İçöz, D., 2016. Doppler ve Renkli Doppler Ultrasonografinin Fiziksel Özellikleri ve Oral Vasküler Anomalilerde Kullanımı. *Türkiye Klinikleri Oral and Maxillofacial Radiology-Special Topics*, 2, 80-84.
- Akpolat, V.A., 2008. Osteoporoz Tanısında Kullanılan Kemik Mineral Yoğunluğu Ölçüm Yöntemleri. *Dicle Tıp Dergisi*, 35, (3), 216-220.
- Ankaralı, H., 2020. Türkiye’de Covid-19 Salgın Sürecinde İhtiyaç Duyulacak Yoğun Bakım Yatak ve Solunum Cihazı Sayılarının Direkt Tahmini. *Anatolian Clinic the Journal of Medical Sciences*, 25 (Special Issue on COVID 19), 59-62.
- Aydın, A., 2019. Radyoterapide Kullanılan Parçacık Hızlandırıcıları. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, 19-28.
- Ayhan, M., 2020. Eu+ 3 Komplekslerinin Değişik Geometrilerde Magnetik Davranışlarının İncelenmesi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 100s., Malatya.
- Bera, G., Soret, M., Maisonobe, J.A., Giron, A., Garnier, J.M., Harbert, M.O., Kas, A., 2017. Equivalent Dose Rate Form Patients Wholw-Body FDG-PET/CT. *Medecine Nucleaire*, 42, (1), 45-48.
- Birand, A., 2008. Kalbin İçrek Gangliyonlanmış Nöral Pleksusu: Intrinsic Cardiac

- Ganglia. The Anatolian Journal of Cardiology, 8, (6), 451-454.
- Brady, Z., Taylor, M.L., Haynes, M., Whitaker, M., Mullen, A., Clews, L., Partridge, M., Hicks, R.J., Trapp, J.V., 2008. The Clinical Application of PET/CT: A Contemporary Review. Australas Phys Eng Sci Med, 31, (2), 90-109.
- Budak, E.Ç., Bozkurt, M.R., 2013. Vertebra Lomber Disklerde Meydana Gelen Bozulmaların manyetik Rezonans Görüntüleme MRG Analizi. AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi, 4, (11), 125-144.
- Böyükata, M., Kumru, M., Selvi, S., 1998. Gamma Işını Buildup Faktörlerinin Su İçerisindeki Değişimlerinin Monte Carlo Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi, Fen Bilimleri Serisi (Fizik), 170-176.
- Clifford, G.D., Azuaje, F., McSharry, P.E., 2006. Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. Artech House, Boston, London.
- Cherry, S.R., Soreson, J.A., Phelps, M.E., 2012. Physics in Nuclear Medicine, Saunders Elsevier, ABD.
- Çetintepe, İ., 2020. COVID-19 Salgını ve Sağlık Çalışanları. Journal Biotechnol and Strategic Health Res; 1 (Özel Sayı), 50-54.
- Cömert, Z., Kocamaz, A.F., 2015. Determination of QT Interval on Synthetic Electrocardiogram. 23<sup>rd</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2569-2572.
- Çalışır, A., Sürmeli, B., Akçay, M.T., 2020. Metro İstasyonlarında Piezoelektrik Malzeme Kullanarak Elektrik Enerjisi Üretilmesi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, (1), 1-6.
- Çamurcu, A.Y., 1996. Tıp Elektronik Alanında Eğitim Modellerinin Araştırılması ve Geliştirilmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Çelebi, G., 2008. Biyomedikal Fizik. Fakülteler Kitap Evi Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Davion, H., Arun, A., Nellie, T., 2014. Assessment Of Piezoelectric Materials For Roadway Energy Harvesting Energy Research and Development Division Final Project Report, Prepared by DNV KEMA Energy and Sustainability.
- Dişli, M., 2019. Yenikapı Kazı Buluntularındaki Bazı Arkeolojik Hayvan Kemiklerinin Nükleer Tekniklerle İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s., İstanbul.
- Doğan, D.D., Melek, M., 2012. Hemşirelerin Acil Kalp Hastalıklarında Görülen EKG Bulgularını Tanıyabilme ve Uygun Tedavi Yaklaşımlarını Değerlendirebilme Düzeylerinin Tespiti. TKD Kardiyovasküler Hemşirelik Dergisi, 3, 60-69.
- Doshi, H.H., Giudici, M.C., 2015. The EKG in Hypothermia and Hyperthermia. Journal of Electrocardiology, 48, (2), 203-209.
- Ergülen, A., 1998. Tc-99m MGBG" nin Spect Tekniği ile Çeşitli Organlarda Absorblanan Radyasyon Dozlarının Hesaplanması ve MIRD Değerleriyle Karşılaştırılması. Edirne Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Ertuğrul I, 2020. Mikro Akışkan Çiplerin Biyomedikal Uygulamaları. Mühendislik Alanında Teori ve Araştırmalar, 2, 161-173.
- Gautschi, G., 2002. Piezoelectric Sensorics: Force, Strain, Pressure, Acceleration and Acoustic Emission Sensors, Materials and Amplifiers. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gelal, F., 2019. Radyoloji Fiziği, Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul.
- Amoako, G., Dartey-Baah, K., 2020, Corporate Social Responsibility: Strategy for Boosting Brand Perception and Competitive Advantage. In CSR and Socially Responsible Investing Strategies in Transitioning and Emerging Economies, 65-78.



- Gupta, R., Mitra, M., Bera, J., 2014. ECG Acquisition and Automated Remeto Processing. Springer, India.
- Günay, O., Öztürk, H., Yazar, O., 2019. İyonize Radyasyon ile Çalışan Tıbbi Görüntüleme Cihazlarının Yapısının Proje Temelli Öğrenimi. Sağlık Hizmetleri ve Eğitimi Dergisi, 3, (1), 20-27.
- Hall, J.E., 2014. Guyton Tıbbi Fizyoloji. Nobel Tıp Kitapbevleri, İstanbul.
- Işık, S.S., Kara, P.Ö., 2019. Nükleer Tıpta Gama Kameraların Günlük Çalışma Verimini Belirlemede Kalite Kontrollerin Önemi: Paratiroid Sintigrafisi SPECT Çalışması Esnasında Gözlenen Fotoçoğaltıcı Tüp Defekti Vakası. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2, 325-332.
- Kumaş, A., 2009. Radyasyon Fiziki ve Tıbbi Uygulamaları, Palme Yayın, Dağıtım, Pazarlama, İç ve Dış Tic. LTD.ŞTİ, Ankara.
- Li, W., Zhang, L., Ge, X., Xu, B., Zhang, W., Qu, L., Weitz, D.A., 2018. Microfluidic Fabrication of Microparticles for Biomedical Applications. Chemical Society Reviews, 47, (15), 5646- 5683.
- Love, C., Palestro, C.J., 2016. Nuclear Medicine Imaging of Bone Infections. Clin Radiol, 71, 632-646.
- Pasinli, A., 2004. Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4, 25-34.
- Orloff, L.A., 2008. Essential Physics of Ultrasound. Head and Neck Ultrasonography. San Diego: Plural Publishing Inc,15-17.
- Özçelik, A., 2013. Radyodiagnostik Radyoloji Fizikinde Kalite Yönetim Metotları, Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep.
- Özdede, M., Paksoy, C.S., 2019. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi: Teknik Çalışma İlkeleri ve Görüntüleme Oluşumu. Türkiye Klinik Oral and Maxillofacial Radiology Special Topics, 5, (1), 1-6.
- Özdemir, M., 2018. Ultrasonografi Eğitimi İçin Balistik Jelatin Esaslı Fantom Geliştirilmesi ve Özelliklerinin Araştırılması. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Özlem. D., Gündüz, H., Ebru, D., 2014. Kardiyoloji Yoğun Bakım ve Acil Biriminde Çalışan Hemşirelerin EKG Bulgularını Tanıyabilme ve Uygun Tedavi Girişimlerinde Bulunabilme Durumlarının Değerlendirilmesi. Sakarya Tıp Dergisi, 4, (4), 178-181.
- Rackus, D.G., Shamsi, M.H., Wheeler, A.R., 2015. Electrochemistry, Biosensors and Microfluidics: A Convergence of Fields. Chemical Society Reviews, 44, (15), 5320-5340.
- Quinn, B., Holahan, B., Aime, J., Humm, J., StGermain, J., Dauer, L., 2012. Measured Dose Rate Constant From Oncology Patients Administered 18F for Positron Emission Tomography. Medical Physics, 39, 6071-6079.
- Polat, L., Çömlekçi, S., 2019. Elektromanyetik Alan Maruziyetinin kas Dokusunda Oluşturduğu Etkinin Modellenmesi ve Analizi. Mühendis Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7, (3), 498-504.
- Sezdi, M., Aydın, A., Kalkandelen, C., 2009. Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Eğitimi ve Ülkemizin Bu Alandaki İhtiyaçlarının İncelenmesi, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı İstanbul Üniversitesi Kitapçığı, 1-10.
- Sackmann, E.K., Fulton, A.L., Beebe, D.J., 2014. The Present and Future Role of Microfluidics in Biomedical Research. Nature, 507, (7491), 181-189.
- Şahmaran, T., Bayburt, M., 2020. Pozitron Emisyon Tomografi – Bilgisayar Tomografi (PET-BT) Uygulamalarında Hasatanın Aldığı Radyasyon Dozunun Belirlenmesi. Kafkas üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 13, (1), 58-63.
- Shang, H., Zhao, W., Zhang, W., 2012. Preoperative Assessment Using Multimodal Functional Magnetic Resonance Imaging Techniques in

- Patients with Brain Gliomas, Turkish Neurosurgery, 22, (5), 558-565.
- Song, Q., Long, L., Cui, S., Shu, H., Wan, C., Wu, B., Ma, X., 2019. Utility of Technetium-99m-Methylene Diphosphonate Single-Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography Fusion in Detecting Post-Traumatic Chronic-Infected Nonunion in the Lower Limb. Nucl Med Commun, 40, (8), 778-785.
- Sumner, L., Chang, L., Jones, D.A., Burke, S.M., McAdams, M., 2012. Evaluation of Basic Arrhythmia Knowledge Retention and Clinical Application by Registered Nurses. J Nurses Staff Dev, 28, (2), 5-9.
- Sürücü, M., 2003. Development of a Quality Assurance system for Bone Densitometer(DXA). Boğaziçi Üniversitesi, Biyomedikal Mühendislik Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Tanır, A.G., Bölükdemir, M.H., Koç, K., 2013. Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği, Palme Yayıncılık, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2012. Biyomedikal Cihaz Teknolojileri Ameliyathane ve yoğun bakım Kitapçığı, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2008. Biyomedikal Cihaz Teknolojileri, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi Nükleer Tıp Üniteleri, Ankara.
- Tenekeci, E.G., Belgüzar, K., 2016. Ev Hemodiyalizinin Yaygınlaşmasının Önündeki Engeller Nelerdir. Nefroloji Hemşireliği Dergisi, 11, (1), 73-78.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2004. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği.
- Üstündağ, Ç.G., 2009. Elektrosponning Yöntemi ile Biyomedikal Kullanıma Yönelik Nanolif Yüzey Üretimi ve Uygulaması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 195 s., Bursa.
- Yang, F., Yang, Z., Feng, J., Zhang, L., Ma, D., Yang, J., 2016. Three Phase Bone Scintigraphy with (99m)Tc-MDP and Serological Indices in Detecting Infection After Internal Fixation in Malunion or Nonunion. Hell J Nucl Med, 19, (2), 130-134.
- Yester, M., 2007. Practice Quality Improvement in Radiologic Physics. The American Board of Radiology. Medical Physics, The University of Alabama at Birmingham.
- Yılmaz, Z., Yıldırım, Y., Kadiroğlu, A.K., Yılmaz, M.E., 2013. Hemodiyaliz Tedavileri. Türkiye Klinikleri. Journal of Nephrology Special Topics, 6, (1), 1-8.
- Yılmaz, B. Biyomedikal Mühendisliği ve Medikal Fizik Farklar ve Benzerlikler. Başkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Yorulmaz, N., 2006. Özgül Soğurma Oranlarının Görüntüsel Bir Vücut Modeli Yardımıyla Monte Carlo Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. Şanlıurfa Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.