T.C.

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANALİTİK KİMYADA TOPLAM VÜCUT SUYUNUN DİELEKTRİK GEÇİRGENLİK METODU İLE İZLENMESİ

Tezi Hazırlayan

Aslı KARADUMAN

Tezi Yöneten

Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN

Kimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2006

KAYSERİ

T.C.

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANALİTİK KİMYADA TOPLAM VÜCUT SUYUNUN DİELEKTRİK GEÇİRGENLİK METODU İLE İZLENMESİ

Tezi Hazırlayan

Aslı KARADUMAN

Tezi Yöneten

Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN

Kimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2006

KAYSERİ

Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN danışmanlığında **Aslı KARADUMAN** tarafından hazırlanan **"Analitik Kimyada Toplam Vücut Suyunun Dielektrik Geçirgenlik Metodu İle İzlenmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

22.08.2006

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Zübeyde GÜNDÜZ

Üye : Prof. Dr. Şenol KARTAL

Üye : Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/08/2006 tarih ve 2006/23-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29 /.08. / 2006..

N. Ayyıldız

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bana her konuda yol gösteren, her türlü maddi, manevi desteğini esirgemeyen ve tez çalışmalarımın danışmanlığını yürüten değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında bana her konuda yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Zübeyde GÜNDÜZ'e ve sorduğum tüm soruları cevapsız bırakmayan Yrd. Doç. Dr. Metin Kaya GÜRGÖZE' ye teşekkür ederim.

Kurduğumuz düzenekte kullandığım cihaz parçalarının temini için yardımcı olan HESFİBEL A.Ş.'ye, çalışmalarımda ölçümlerimin bir kısmını tamamladığım 2.Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı'na çok teşekkür ederim.

Her ne kadar yanımda olmasalar da, tüm öğrenimim boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, varlıklarıyla sonsuz güç veren aileme ve çalışmalarım boyunca yanımdan ayrılmayan arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

TOPLAM VÜCUT SUYUNUN DİELEKTRİK GEÇİRGENLİK METODU İLE İZLENMESİ

Aslı KARADUMAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2006

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvarda Lock-in Amplifier (LIA) kullanılarak geliştirilen çalışır durumdaki bir düzenek ile, öğrencilerde ve askerlerde, suyun geçirgenlik özelliğinden yararlanarak vücutlarındaki toplam su miktarları ölçülmüştür. Bunun için iki paralel levhadan oluşturulan bir kabin hücresine, vücutlarında değişik su miktarına sahip kişiler girerek, toplam suyun miktarca değişimine bağlı olarak geçirgenlikteki değişim gözlenmiştir. Her bir kişi için ölçülen geçirgenlik değerlerinin yaş, cinsiyet, boy ve kilodaki değişim ile nasıl değiştiği irdelenmiştir. Vücuttaki toplam su miktarının hesaplanması için Bioelektriksel empedans analiz cihazı ile ölçülen rezistans değerleri referans alınmıştır. Su miktarının ya da hacminin (litre,L) olarak hesaplanması için Watson ve Bioelectrical Impedance yöntemleri kullanılarak, sonuçlar kıyaslanmıştır. Hesaplamalarda 0,999'luk korelasyon elde edilmiş ve ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliğindeki BSS (%) değerleri 0.96- 1.36 arasındadır. İlk kez yapılan bu çalışma temassız (non-contact) olup, biyoempedans cihazındaki jel ve yapışkan elektrotlarla oluşabilecek sorunları ortadan kaldırmakta ve vücuttaki başka elektrik sinyallerinin girişimini engellemektedir. Yöntem analitik kimyada, endüstriyel sanayide ve medikal alanda gelişim gösterecektir.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik geçirgenlik, Lock-in Amplifier, Faz Duyar Kapasitansmetre, Toplam Vücuttaki Su Miktarı, Bioelektriksel Empedans Analizi.

MEASUREMENTS OF TOTAL BODY WATER USING DIELECTRIC PERMITTIVITY METHOD

Aslı KARADUMAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, Agust 2006

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN

ABSTRACT

In this study, I worked with an equipment by using Lock-in Amplifier (LIA) to measure the total water value in human body, by benefiting water's permittivity value. To achieve that people whose body water values are different located in a cabin cell which consists of two paralel panels, and then the change of permittivity values are observed according to different body water values. For each person, the change of permittivity value is considered how to change by analyzing age, sexuality, height and mass values of that person. To calculate total body water value in human body, the resistance values measured with Bioelectrical Impedance Analysis are treated as references. For calculating water value in Liters the results of the Watson and Bioelectrical Impedance methods are used and then the results have been compared with each others. The calibration was 0,999 and then calibration curves were formed. The RSD (%) values for these results were between 0,96-1,36. This study which was done fort he first time is non-contact and it has been abating the problems which are made fo gels and sticky electrods in Bioelectrical Impedance Analyzer and it has been frustrating the another electrical signals in human body. It may be an useful method in analytical chemistry, industrial and medical applications in future.

Keywords: Dielectric permittivitiy, Lock-in Amplifier, Phase sensitive capacitancemeter, Total body water value, Bioelectrical Impedance Analysis.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY I
TEŞEKKÜR II
ÖZET III
ABSTRACT IV
TABLOLAR LİSTESİ VII
ŞEKİLLER LİSTESİ VIII

1. BÖLÜM
GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI 1

2. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER 3
2.1. Dielektrik Sabiti ve Elektriksel Geçirgenlik 3
2.2. Dipol Moment 4
2.3. Kutuplaşma (Polarizasyon) 5
2.4. Kondansatörler (Kapasitörler) 7
2.5. Sürekli Dipol Moment 10
2.6. A.C Elektriksel Geçirgenlik ve Kapasitansa Dayalı Ölçüm Metotları 12
2.7. Lock-in Amplifier (LIA) ve Çalışma Prensibi 13
2.8. Bioelektrik Empedans Analizi 15
2.8.1. Şematik Olarak Biyoelektrik Empedans Teknikleri 19
2.8.2. BIA Sisteminde Kullanılan Elektrotlar ve Özellikleri 21
2.9. Vücudun Vazgeçilmezi 'SU' 22
2.9.1. İnsan Vücudunda Su Miktarı ve Dağılımı 23
2.9.2. İnsan Vücudunda Suyun Görevleri 24
2.9.3. İnsan Vücudunda Su Alım ve Atım Yolları 26
2.9.4. İnsan Vücudunun Günlük Su Gereksinimi 31
2.10. İnsan Vücudundaki Toplam Su Miktarının Belirenmesi İçin Yapılan Değişik Çalışmalar 33

3. BÖLÜM
YÖNTEMLER 36
3.1. Kullanılan Aletler.....36
3.1.1. Faz Duyar Kapasitansmetre.....36
3.1.2.Oluşturulan Ölçüm Düzeneği 36
3.1.3. Faz Duyar Kapasitansmetrenin Çalışma Prensibi.....38
3.1.4. Biyoempedans Cihazı (BIA)……...38

4. BÖLÜM
4.1. Yapılan Çalışmalarda Alınan Ölçümler 40
4.1.1. Kapasitif Düzenekte Cihaz Kabini Boş İken Alınan Ölçümler.....40
4.1.2. Hazırlanan Düzenekte Aynı Kişi Üzerinde Yapılan Tekrarlanabilirlik Ölçümleri.....41
4.1.3. Değişik Elektrotların Biyoempedans Cihazı İçin Denenmesi 41
4.1.4. Zamana Karşı Aynı Kişi Üzerinde Faz Duyar Kapasitansmetre İle Ölçülen Geçirgenlik Değerleri.....43
4.2. Yapılan Ölçümlerin Grafik Değerlendirmeleri 44
4.2.1. Değerlendirmelere Etki Eden Parametreler.....44
4.2.2. Yapılan Ölçümlerde Değişken Parametreler 44
4.2.3. Yapılan Ölçümlere Ait Grafik Çizimleri.....45

5. BÖLÜM
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....54
KAYNAKLAR.....59
ÖZGEÇMİŞ.....63

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı Sıvıların 25ºC' de Ölçülen Dielektrik Sabitleri 4
Tablo 2.2. Bazı Maddelerin Dipol Momentleri 5
Tablo 2.3. Ticari Kapasitör Özellikleri 10
Tablo 2.4. İnsan Vücudundaki Doku ve Organların Hacimce Su Bileşimi 25
Tablo 2.5. Ilık İklim Koşullarında İnsan Vücudunda Su Dengesi 27
Tablo 2.6. Bazı Besinler ve İçeceklerin Su İçerikleri 29
Tablo 3.1. Deneysel Kapasitans Ölçüm Düzeneklerinin Teknik Özellikleri 35

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir Molekülün Elektriksel Alanda Kutuplaşması (polarizasyon).....6
Şekil 2.2. Bir Kapasitör Örneği 8
Şekil 2.3. Kondansatör Çeşitleri.....9
Şekil 2.4. Kapasitif Transducerin Şematik Gösterimi 12
Şekil 2.5. Lock-in Amplifier'in Temel Çalışma Prensibinin Gösterimi.....14
Şekil 2.6. Hücrenin Plazma Memranı ve Elektriksel İşlevi 16
Şekil 2.7. İnsan Vücudundaki Rezistör ve Kapasitörler 17
Şekil 2.8. Dört Elektrot Kullanılarak Yapılan BIA Ölçüm Metodu.....19
Şekil 2.9. İkili Elektrot Kullanarak Yapılan Ölçüm Metodu 20
Şekil 2.10. İkili Elektrotla Koldan Kola Uygulanan Ölçüm Metodu 20
Şekil 2.11. Elektrotların Bağlanma Şekli.....21
Şekil 2.12. Test Direncine Krokodillerle Bağlantı 22
Şekil 2.13. Vücutta Suyun Bulunma Yerleri.....23
Şekil 2.14. Vücuttaki Suyun Dengesi 27
Şekil 3.1. Kapasitans Ölçüm Düzeneği ve Hücrelerin Blok Diyagramları.....34
Şekil 3.2. Quantum II Bioempedans Cihazı.....36
Şekil 3.3. RJL BIA Cihazının Çalışma Prensibi.....38
Şekil 4.1. Erkeklerde boy (cm)'ye karşı geçirgenliğin değişimi.....45
Şekil 4.2. Erkeklerde boy (cm)'ye karşı dirençteki değişim.....46
Şekil 4.3. Erkeklerde ağırlık (kg)'a karşı dirençteki değişim.....46
Şekil 4.4. Erkeklerde ağırlık (kg)'a karşı vücuttaki toplam su miktarındaki değişim 47
Şekil 4.5. Erkeklerde ağırlık (kg)'a karşı geçirgenlikteki değişim.....47
Şekil 4.6. Erkeklerde boy (cm)'ye karşı vücuttaki su miktarı değişimi.....48
Şekil 4.7. Erkeklerde vücuttaki toplam su miktarı(L)'na karşı dirençteki değişim....48
Şekil 4.8. Erkeklerde vücuttaki toplam su miktarı (L)' na karşı geçirgenlikteki değişim.....49
Şekil 4.9. Bayanlarda ağırlık (kg)'a karşı geçirgenlikteki değişim 49
Şekil 4.10. Bayanlarda kilo (kg)'a karşı dirençteki değişim.....50
Şekil 4.11. Bayanlarda boy (cm)'ye karşı vücuttaki su miktarı değişimi.....50
Şekil 4.12. Bayanlarda ağırlık (kg)'a karşı vücuttaki su miktarı değişimi 51
Şekil 4.13. Bayanlarda boy (cm)'ye karşı dirençteki değişim 51

Şekil 4.14. Bayanlarda boy(cm)'ye karşı geçirgenlikteki değişim.....52
Şekil 4.15. Bayanlarda vücuttaki su miktarı (L)' na karşı geçirgenlikteki değişim.....52
Şekil 4.16. Bayanlarda vücuttaki su miktarı (L)' na karşı dirençteki değişim.....53
Şekil 4.17. Zamana karşı aynı kişi üzerinde geçirgenlik değerlerinin monitörlenmesi.....53

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1. Çalışmanın Amacı

Dielektrik geçirgenlik metotları günümüzün gittikçe önem kazanan konularından olup, araştırma laboratuvarlarından, medikal alan ve on-line proses kontrolüne kadar geniş bir spektruma yayılmıştır.

Yaptığımız çalışma içerisinde gerek sensörler gerekse kapasitör ya da kondansatörler için oldukça önemli olan dipol moment, dielektrik sabiti, a.c. elektriksel geçirgenlik, polarlanabilirlik gibi kavramlardan bahsedilmektedir. Bilindiği gibi kapasitör ya da kondansatörler belirli bir mesafede iki iletken plaka arasına dielektrik malzemeden oluşan yalıtkan bir malzemenin yerleştirilmesi veya hiçbir yalıtkan kullanılmaksızın hava aralığı bırakılması ile oluşturulur. Bu dielektrik malzemeden oluşan yalıtkan madde kağıt, hava, polistiren, seramik, polar türler içeren reçine, su vb. olabilir. Dielektrik malzeme içerisinde bulunabilecek polar maddeler ya da iyonlar geçirgenliği oldukça etkiler. Bu ise kimyasal maddelerin, çözücü ve çözücü moleküllerinin (dipol moment oluşturmasıyla) doğal yük dağılımı ya da kutuplanmasıyla ilgilidir. Benzen, metan gibi simetrik moleküllerde dipol moment (μ) sıfır iken su, HCl gibi simetrik olmayan moleküllerde sürekli net dipolden söz edilir. Çözeltilerde iyonik iletkenlik kondüktometrik yöntemler ile ölçülebilmektedir. Ancak polarite ya da polarlanabilme özelliği sadece elektrik alanda belirli bir frekanstaki değişken a.c akım geçirgenliği ile ölçülebilmektedir. Yani dielektrik malzemenin yüksek frekansa yanıtı, onun polaritesi ya da polarlanması ile ilgili olup, polarlık arttıkça geçirgenlik de artar. Pek çok saf çözücü, gaz ya da karışımların dipol moment veya polarlanabilirlik ölçümlerinden yararlanarak saflık kontrolü, tepkime mekanizmasının aydınlatılması ya da tepkime kinetiği incelenebilir.

Yapılan çalışmada iki paralel levhadan birine uygulanan yüksek frekansın diğer levhayı indüklemesi aradaki dielektrik malzeme ile ilgilidir. Polar çözücüler ve saf su (oldukça polar) şiddetli indükleme yapar. Dielektrik malzeme yerine çözelti ya da analitimizi koyarsak bunların yüksek frekansa yanıtını inceleyebiliriz. Geçirgenliği moleküllerin polarlığı yanı sıra ortamdaki serbest iyonlar da etkilemektedir. Apolar maddelerde geçirgenlik söz konusu değildir ya da indüklenme görülmez.

Günümüzde elektronik sanayide 'a.c. elektriksel geçirgenlik'ya da 'dielektrik sabiti' ölçüm metotları, bir çok saf maddelerin kalite kontrolü ile prosesinde, benzine solvent katkısının belirlenmesinde [5], toz deterjan [10] ile kuru baklagillerde nem tayininde kullanılabildiği gibi, saf alkolde metanol tayininde, biyolojide hücre konsantrasyonlarının on-line gözlenmesinde, epilepsi hastalarının kriz anlarının on-line görüntülenmesinde, polarlığın değişime uğradığı pek çok organik tepkimenin bu yolla izlenmesinde kullanılması da muhtemeldir. Bu yöntemle kuvvetli asit-baz titrasyonlarında dönüm noktası, temassız (non-contact) olarak monitörlenmiştir. Petrol rafineri çıktılarının gerçek zaman (real time) kontrolünde, eser elementlerin zenginleştirilmesi ve eluasyon basamaklarının gerçek zamanda izlenmesinde, bir iyon tutucu reçinenin iyonları tutuşu ve bırakma kinetiğinin on-line olarak gözlenmesinde gelecek vaat etmektedir.

Sağlıklı ölçümler genellikle 'Faz Duyar Dedektör' ya da 'Lock-in Amplifier'(LIA) ile yapılır. LIA sadece kapasitöre uygulanan frekansı referans alır ve bu frekanstaki sinyale kilitlenerek onu demodüle eder, bu yolla pek çok yabancı sinyal ya da şebekeden gelebilecek 50 Hz'lik gürültü atılmış olur.

Bu çalışmada LIA kullanılarak geliştirilen bir faz duyar kapasitemetrede paralel iki levha büyük ölçekli tutulup, dielektrik malzeme olarak araya insan vücudu girerek toplam vücut suyu temassız ve gerçek zamanda (non-contact on-line) monitörlenmiştir. Ölçüm esnasında kişi, üzerindeki metal eşyaları çıkarmalıdır çünkü metaller indüklemeyi şiddetlendirir. Bu yüzden sistem uyarı dedektörü olarak ta kullanılabilir.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Dielektrik Sabiti ve Elektriksel Geçirgenlik

Aralarında r uzaklığı bulunan Q1 ve Q2 yükleri arasındaki kuvvet CGS sisteminde

$$F = \frac{Q_1.Q_2}{\varepsilon.r^2} \tag{2.1}$$

şeklinde yazılabilir. Eğer yükler boşluk (vakum) içinde ise ε=1, değilse ε>1'dir. Bu durumda ε niceliğine yüklerin bulunduğu ortamın dielektrik sabiti denir. Aynı Coulomb kuvveti SI birim sisteminde;

$$F = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon}.\frac{Q_1.Q_2}{r^2} \tag{2.2}$$

şeklinde yazılabilir. Burada ortamın elektrik geçirgenliği olan ε, boşluk için ε_0=8.854x10^{-12} $C^2J^{-1}.m^{-1}$'dir. Eğer ortamın ε geçirgenliği, boşluğun ε_0 geçirgenliğinden büyükse ortamın boşluk olmadığı anlaşılır. Boşluk olmayan bir ortamın ε_r olarak ifade edilen ve

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \tag{2.3}$$

şeklinde tanımlanan bağıl geçirgenliğine, ortamın 'dielektrik sabiti' adı verilmektedir. Bir kondansatörün sığasının sırasıyla madde ve boşlukta ölçülmesinden bulunan C ve C_0 değerlerinin oranlanmasıyla;

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \tag{2.4}$$

bağıntısına göre maddenin dielektrik sabiti bulunur.

Bir sıvının belli sıcaklıktaki yoğunluğu ve dielektrik sabiti ölçülürse indüklenmiş molar polarizasyon (P_i) (2.8) bağıntısı ile hesaplanabilir. Bazı sıvıların 25ºC'deki dielektrik sabitleri Tablo 2.1' de verilmiştir [1].

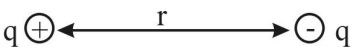
Tablo 2.1. Bazı sıvıların 25ºC'de ölçülen dielektrik sabitleri

Madde	ε_r	**Madde**	ε_r
Hekzan	1,90	Kloroform	4,80
Siklohekzan	2,03	Aseton	21,2
Karbontetraklorür	2,24	Etanol	24,3
Benzen	2,28	Nitrobenzen	34,8
Dietileter	4,30	Su	78,5

Benzen, hekzan ve karbontetraklorür gibi kalıcı kutuplanması olmayan moleküllere sahip sıvıların dielektrik sabitleri çok düşük olduğu halde aseton, etanol, nitrobenzen ve su gibi kalıcı kutuplanmaya sahip moleküllerin dielektrik sabitleri çok yüksektir. Bu durum dipol moment ile dielektrik sabitinin birbirine bağımlı olduğunu göstermektedir. Dipol moment arttıkça dielektrik sabiti de artmaktadır.

2.2. Dipol Moment

Genel olarak ifade edilirse aralarında r uzaklığı bulunan birbirine eşit fakat işaretçe zıt olan iki elektrik yükünün oluşturduğu sisteme '*dipol*'denir ve sistemin dipol momenti



$$\mu = q.r \qquad (2.5)$$

bağıntısı ile verilir. + q ve – q yüklerinin elektron yüküne $e = 4{,}80\times10^{-10}$ e.s.b. eşit olduğu ve aralarındaki uzaklığın r = 1 Aº = 10^{-8} cm olarak alınırsa dipol moment değeri CGS biriminde

$\mu = 4{,}80\times10^{-10}\times10^{-8} = 4{,}80\times10^{-18}$ (e.s.b) (cm) olur. Dipol moment birimi olarak 1 Debye(D)= 10^{-18} cm (e.s.b) kabul edilmiştir.

Zıt işaretli iki kutup oluşturan polar kovalent yapılı bir molekül *dipolar bileşik* adını alır. Bu kutuplanmanın büyüklüğü *dipol moment* olarak ifade edilir. Bu da molekülün yapısının simetrik olup olmaması ile ilgilidir. Farklı atomlardan oluşan heteronükleer simetrik moleküllerde oluşan bağların her biri polar olmalarına rağmen bağların momentleri zıt yönlerde eşit olduğundan molekülün net dipol momenti sıfır olur. Örnek olarak CO_2 molekülü verilebilir. Ancak H_2O gibi farklı atomlardan oluşan ve simetrik olmayan moleküllerdeki bağlar açılıdır ve molekül içinde zıt yöndeki bağ dipolleri birbirini götürmez. Bu nedenle asimetrik yapıdaki moleküllerde net dipol moment söz konusudur. Tablo 2.2' de bazı maddelerin dipol moment değerleri verilmiştir [2].

Tablo 2.2. Bazı maddelerin dipol momentleri

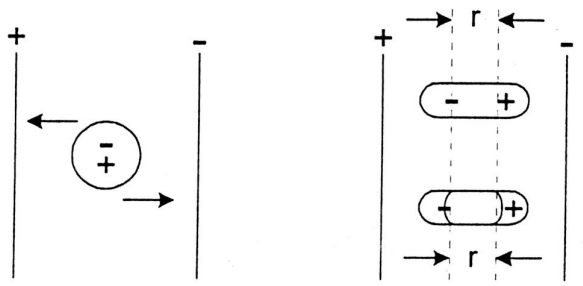
Bileşik	**Dipol Moment**
HCN	2,93
HCl	1,03
H_2O	1,85
KCl	10,48
KF	8,62
HBr	0,78
HI	0,38
CO_2	0,00

2.3. Kutuplaşma (Polarizasyon)

Paralel iki levhaya (kapasitör) belirli bir potansiyel farkı uygulanması ile oluşturulan elektrik alanı içine bir molekül yerleştirilsin. Her molekülde pozitif ve negatif yüklü kısımlar vardır. Elektrik alanının etkisi ile negatif yüklü tarafta fazlaca bulunan elektronlar pozitif levhaya doğru, pozitif yüklü (elektronca fakir) atomlarda negatif levhaya doğru çekileceklerdir. Sonuç olarak molekül (iki kutuplu) kutuplaşmış olur.

Yani alanın molekülü polarize ettiğinden söz edilir. Bu olaya polarizasyon (kutuplaşma) denir.

Elektrik alan kaldırılırsa, molekül eski normal haline döner. Yani bu tür kutuplaşma elektrik alanı sayesinde gerçekleşmektedir. Bu tür kutuplaşmaya *indüklenmiş kutuplaşma* veya *indüklenmiş polarizasyon* denir. Şekil 2.1' de kutuplaşma olayı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Bir molekülün elektriksel alanda kutuplaşması (polarizasyon)

(a) şekli molekülün normal ilk halini ve (b) şekli kutuplaşmış halini gösteriyor. Polarizasyon sonunda meydana gelen kutuplaşmış moleküle 'elektrik dipol' denir. Şekilde görüldüğü gibi dipolün bir ucu (+) ve diğer ucu (-) yüklüdür. Şekil 2.2' de görüldüğü gibi dipolün iki ucundaki yükler birbirine eşit fakat zıt işaretlidir [3]. Aradaki uzaklık r, yükler q ise dipolün elektrik momenti;

$$\mu_i = q.r \tag{2.6}$$

olur. Burada μ_i = indüklenmiş dipol momenttir. Elektrik alan şiddeti E ile gösterilirse

$$\mu_i = \alpha.E \tag{2.7}$$

yazılabilir. Burada α, kutuplaşabilme (polarizability) dir. Kutuplaşabilme (α) ile ortamın dielektrik sabiti (ε) arasında, Clausius-Mosotti tarafından bulunan şu bağıntı vardır.

$$P_i = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right)\frac{M}{d} = \frac{4}{3}\pi N_A \alpha \tag{2.8}$$

Yukarıdaki ifade de P_i, indüklenmiş molar polarizasyon; ε, ortamın dielektrik sabiti; M, molekül ağırlığı; d, yoğunluk; N_A, avagadro sayısı; α ise kutuplaşabilmedir. Denklemin en sağındaki N_A ve α terimleri sıcaklığa bağlı olmayan sabitler olduğundan, P_i'de sıcaklığa bağlı olmayan sabit değerdedir ve sadece molekülün cinsine bağlıdır [4].

2.4. Kondansatörler (Kapasitörler)

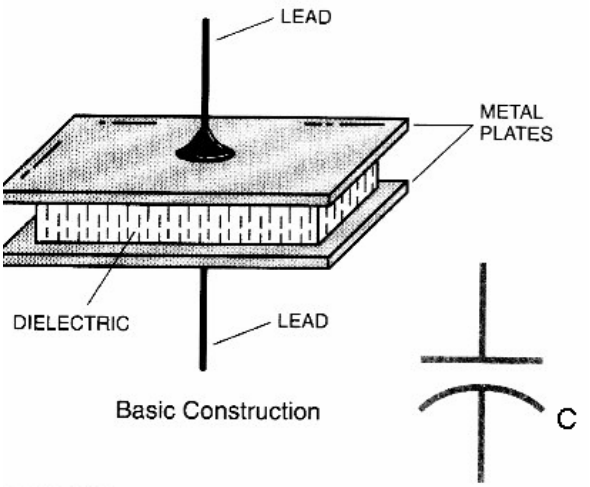
Kondansatörler veya kapasitörler pasif devre elemanları arasında en çok karşılaşılanlardır. Karşılıklı iki iletken ve bunların arasında bulunan bir yalıtkandan oluşan ve elektrik yükü depo edebilme yeteneğine sahip kondansatörlerin depolayabildiği yük, kapasitörün uçları arasına uygulanan gerilimle ve kapasitörün kapasitansı ile doğru orantılıdır. Kondansatörün yük depo edebilme yeteneği '*kapasite*'olarak adlandırılır ve harici bir gerilim kaynağı tarafından beslenmesi gerekir.

$$Q = C.V \qquad (2.9)$$

Q, yük olup birimi Coloumb'dur. C ise sığa veya kapasitans olup, birimi Farad (F)'dır. V ise volt cinsinden kapasitöre uygulanan gerilimdir. Bir kondansatörün uçlarına 1 voltluk gerilim uygulandığında o kondansatör üzerinde 1 Coloumbluk bir elektrik yükü oluşuyorsa, kondansatörün kapasitesi 1 Farad demektir. Farad çok büyük bir birim olduğu için elektronik devrelerde kapasitans değerleri pF, nF, μF olarak karşılaşılır [5,6].

$$(1\ \text{Farad} = 10^6\ \mu\text{F} = 10^9\ \text{nF} = 10^{12}\ \text{pF}) \qquad (2.10)$$

Şekil 2.2'de bir kapasitör örneği gösterilmektedir.

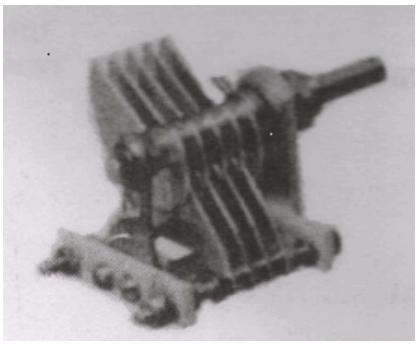


Şekil 2.2. Bir kapasitör örneği [7]

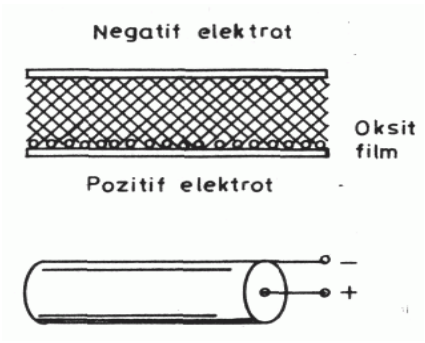
Kapasitörün kapasitans değeri (C), plakalardan birinin alanına (A), plakalar arası mesafeye (d), elektrik malzemeye ve ortamın geçirgenliğine bağlıdır.

Kondansatör çeşitleri kullanılan yalıtkan (dielektrik) malzemeye göre sınıflandırılır. Mika, kağıt seramik, değişken kondansatörler ve elektrolitik kondansatörler bulunmaktadır. Şekil 2.3'de kağıt, değişken ve elektrolitik kondansatörler görülmektedir.

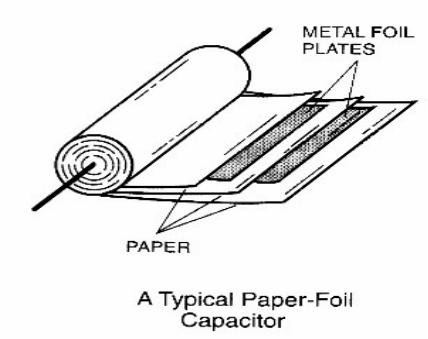
Kağıt kondansatörlerde yalıtkan madde olarak kağıt kullanılmış olup, kağıt çok ince bir silindirik yapı oluşturmak üzere birbiri üzerine sarılmıştır. Kağıt kondansatörlerde dış kılıf olarak plastik kullanılır. Orta büyüklükte örneğin 0,005-1 μF arasında kapasitörleri kapsar [7].



Değişken Kondansatör



Elektrolitik kondansatör



Kağıt kondansatör

Şekil 2.3. Kondansatör çeşitleri [8]

Değişken kondansatörlerde karşılıklı plakalar arasında dielektrik madde olarak hava görev yapar. Elektrolitik kondansatörlerde ise asit eriyiği gibi bir maddenin emdirildiği bez yalıtkan madde olarak kullanılır. Ticari kapasitörlerde yaygın kullanılan materyaller arasında dielektrik sabiti yaklaşık 1.0'dan (hava) 11'e kadar (Tantal oksit) değişebilir [7,8]. Aşağıdaki tabloda ticari kapasitörlerin özellikleri verilmiştir [9].

Tablo 2.3. Ticari kapasitör özellikleri

Kapasitör tipi	**Dielektrik materyal**	**Kapasitans aralığı**	**Maksimum voltaj**
*Elektrolitik Olmayan			
Değişken	Hava	5-500 pF	500V
Seramik	Baryumtitanat ($BaTiO_3$)	1000pF-1µF	2000V
Mika	Mika	100-5000 pF	10kV
Film	Teflon, Polistiren, Polikarbonat	0.01-50 µF	1kV
*Elektrolitik Olan			
Tantal	Tantal oksit(Ta_2O)	0.01-3000µF	400V
Aluminyum	Aluminyumoksit (Al_2O_3)	0.1-100000 pF	400V
*Chip (çip)	Seramik	1 nF-1µF	50V

2.5. Sürekli Dipol Moment

Polar yapılı moleküller bir elektrik alanı olmadan da kendiliğinden polarize haldedirler, bu moleküller sürekli dipol bir yapıya sahiptirler. Yani bu tür moleküllerin sürekli dipol momentleri vardır. Sürekli dipol momenti olan moleküller bir kondansatör içindeki elektriksel alana konulursa iki tür etki gösterirler [5].

(a) Elektrik alanı, dipol momentleri döndürecek ve bu sürekli dipolleri elektrik alanı yönünde tutmaya çalışacaktır(yönlenme polarizasyonu).

(b) Elektrik alanı, molekülleri kutuplaşmaya zorlayacaktır yani indükleyecektir ve indüklenmiş polarizasyondan söz edilecektir.

Eğer moleküller hareketsiz olsalar, elektrik alanı nedeniyle yönlenirler ve alanın levhalarına dik bir yön alırlar. Sıvı molekülleri belli bir sıcaklıkta termal etkiyle sürekli

hareket halinde olduklarından elektrik alan bunları tam olarak kendi yönüne çeviremez ve dipol moleküller levhalara tam paralel ya da tam dik olmazlar, ikisinin ortasında yönlenirler.

Toplam molar polarizasyon, indüklenmiş molar polarizasyon (P_i) ile yönlenme molar polarizasyon (P_y) toplamına eşittir.

$$P_T = P_i + P_y \tag{2.11}$$

Apolar yapılı moleküllerde olduğu gibi moleküllerin kendiliğinden dipol momentleri yoksa yani sürekli dipol değilse; toplam molar polarizasyon indüklenmiş molar polarizasyona eşittir. Eğer moleküller 'sürekli dipol halde' iseler toplam molar polarizasyon, indüklenmiş molar polarizasyon ile yönlenme (orientation) molar polarizasyonun toplamına eşittir.

$$P_T = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right)\frac{M}{d} = P_i + P_y \tag{2.12}$$

P_i'nin değeri (2.9) eşitliğinde yerine yazılırsa,

$$P_T = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right)\frac{M}{d} = \frac{4}{3}\pi N_A \alpha + P_y \tag{2.13}$$

Eşitliği bulunur. P_y için Debye tarafından bulunan bağıntı,

$$P_y = \frac{4}{3}\pi N_A \left(\frac{\mu^2}{3kT}\right) \tag{2.14}$$

şeklindedir. Burada μ, molekülün sürekli dipol momenti; k, Boltzman sabiti; T, mutlak sıcaklık; N_A ise avagadro sayısıdır. Bu ifade de yerine yazılırsa toplam molar polarizasyon,

$$P_T = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right)\frac{M}{d} = \frac{4}{3}\pi N_A \left(\alpha + \frac{\mu^2}{3kT}\right) \tag{2.15}$$

şeklini alır. Burada P_T'nin T ile ters orantılı olduğu görülür [5].

Dielektrik sabiti, iç veya dış bir elektrik alanı altında moleküllerin davranışı, kutuplaşabilme veya polarizasyon ve dipol momentleri hakkında faydalı bilgiler verir.

Çözeltilerde dipol moment değerleri geçirgenlik (dielektrik sabiti) değerlerinden hesaplanabilir [10]. Ayrıca yoğunluklardan giderek Halverstadt ve Kumler [11] metodu ile de tayin edilebilir.

2.6. A.C Elektriksel Geçirgenlik ve Kapasitansa Dayalı Ölçüm Metotları

İki düzenleme yapılır.

i) Kapasitans Köprüsü

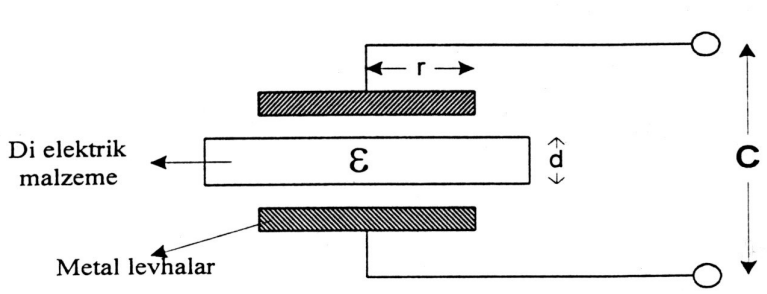
ii) Lock-in Amplifier (LIA) ile Düzenlemeler

Kapasitans köprüsü metodunda bir osilatör, köprü düzeneği ve doğrultucu devre ile gösterge vardır. Köprüye belli frekansta a.c uygulanır. Köprünün çıkışında doğrultularak integre edilen a.c sinyal, d.c olarak belli bir değere set edilir. Köprü üzerinde bulunan sensör kapasitöründeki değişimden dolayı köprü dengeden uzaklaşır ve bu da sıfırdan yani set edilen değerden sapma olarak çıkış verir [5].

Lock-in Amplifierli düzenlemelerde ise bir osilatör, LIA ve gösterge vardır. Kapasitör LIA girişine seri olarak bağlanarak a.c geçirgenlik hücresi olarak çalışır ya da köprü ile tümleşik düzenlemeler kullanılabilir.

Ölçülecek büyüklüğü transducer üzerinde kapasitans değişimi olarak veren sistemlere ‘kapasitif transducer’lar denir. Bunlardan bizim için gerekli olanı, kapasitör levhalar arasındaki dielektrik malzemenin yer değiştirdiği sensörlerdir [5].

Dielektrik malzeme bileşiminin değiştiği sensörler, sabit kapasitör levhaları arasına yerleştirilebildiği ve temassız (non-contact) olduğu için oldukça kullanışlı bir metottur. Bir kapasitif transducerin gösterimi şöyledir.



Şekil 2.4. Kapasitif transducerin şematik gösterimi [5]

Burada C (kapasitans), ε (dielektrik katsayısı) ile doğru orantılı olup, dielektrik malzemenin alanıyla (a) yine doğru, kalınlığı ile ters orantılıdır.

$$C\alpha\frac{\varepsilon.a}{d} \tag{2.16}$$

Bu denklemin emprik şekli ise;

$$C(pF) = 0.085\varepsilon\frac{a}{d} \tag{2.17}$$

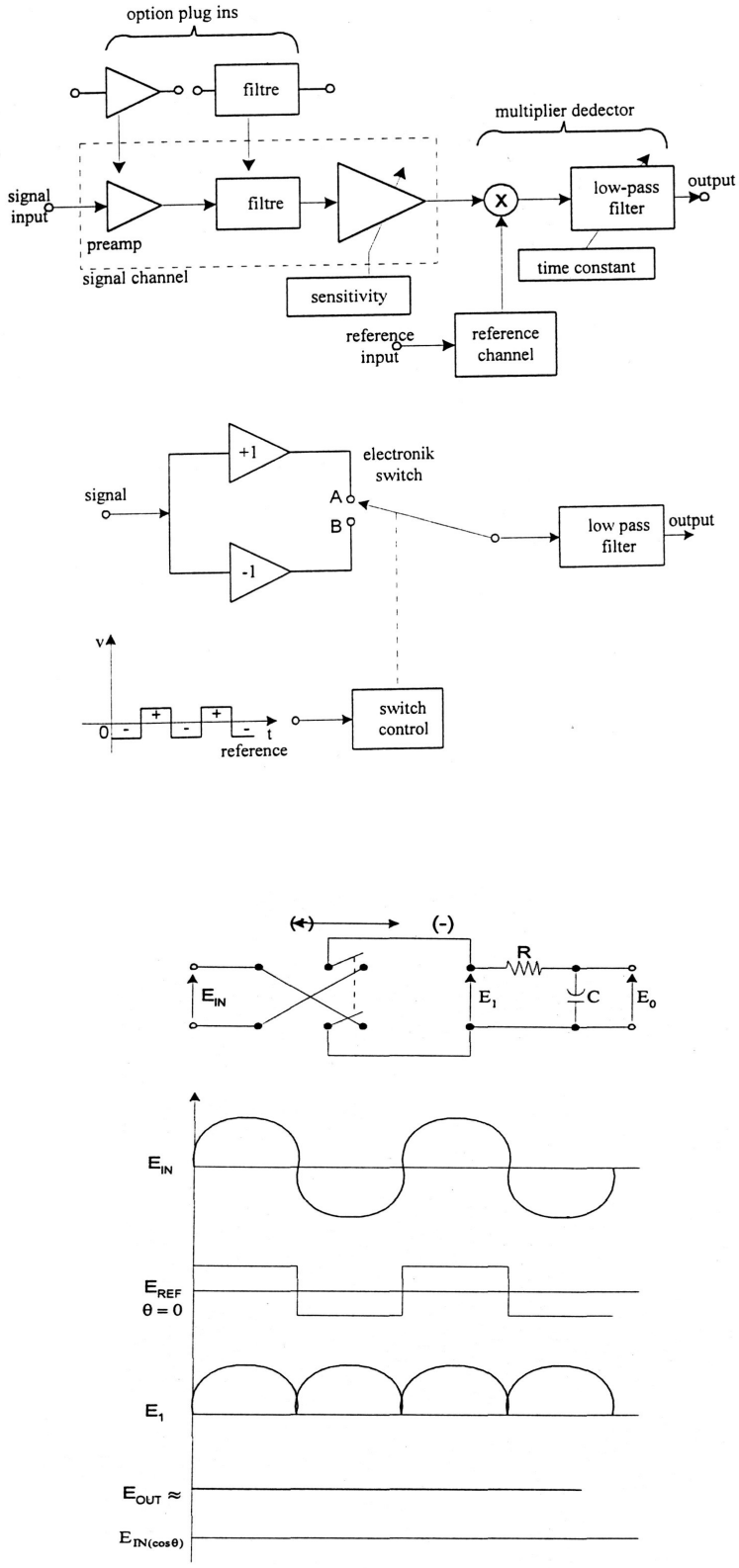
şeklindedir. Elektrot çapı materyal kalınlığından daha büyük olmalıdır. Bir sürekli üretim prosesinde plastik levha ya da pencere camının çekiminde, levha kalınlığının sürekli monitörlenmesi kapasitif transducerler ile gerçekleşir. Kalınlığının hep sabit kalması sağlanabilir. Buradaki faz açısının ölçülmesi Lock-in Amplifierlerle sağlanır.

Dielektrik malzemenin plakalara bakan yüzeyinde plaka alanına eşit bir alanın a.c'ye karşı direnci 'yüzey tabakası direnci'olup, dielektrikler için çok büyük değerdir. Ancak havada nem kapan bir dielektrik malzemenin yüzey direnci değişebilir. Nem ölçümlerinde bundan yararlanılır. Kağıtta, mahsullerde, bitkilerde, bizim çalışmamızda olduğu gibi insan vücudunda hızlı ve gerçek zaman nem ölçümü yapılabilir [5].

2.7. Lock-in Amplifier (LIA) ve Çalışma Prensibi

Pek çok uygulamada d.c- kayma etkisi ya da gürültüyle karışık zayıf sinyallerin ölçümü gerekir. Konvensiyonel tekniklerle bu tipte sinyalin ölçümü, monitörlenmesi ya da kaydı zordur ve sık sık hata yapılabilir. Bu monografta tartışılan uygulamalar bu türdeki gürültü problemlerinin üstesinden Lock-in Amplifierin nasıl geldiğidir [10].

LIA, çeşitli sinyallerin işlenmesinde duyar ve kolay bir sistemdir. Bir lock-in amplifier, faz duyar dedektör olarak da bilinir. Onun kalbi, çift kutuplu, çift atımlı dönebilen basit bir anahtar şeklinde düşünülebilir. Bu anahtarın pozisyonu referans sinyalin polaritesiyle tayin edilebilir. Aşağıda şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Lock-in amplifier'in temel çalışma prensibinin gösterimi [5]

Şekil 2.5'de gösterildiği gibi şayet giriş sinyali (E_{IN}) gürültüsüz, sinüzoidal ve referans sinyaline (E_{REF}) aynı fazda ise, çıkış tam dalga rektifiye edilmiş(doğrultulmuş) sinüs olacaktır (E_1). Bu çıkış da alçak geçiren filtre yardımı ile düzeltildiği zaman, çıkış sinyali giriş sinyalinin rms değerine karşılık gelen dc sinyal ile orantılı olacaktır. Ancak giriş ve referans sinyali arasında 90º faz farkı olduğunda anahtarın çıkışı sıfır olacaktır. Böylece sistem çıkışı, giriş sinyalinin rms değerine, ayrıca giriş ve referans sinyali arasındaki faz açısının kosinüsüne orantılı olacaktır. Bir LIA'nın toplam transfer fonksiyonu;

$$E_{out} = (E_{in})(\text{Cos}\theta) \tag{2.18}$$

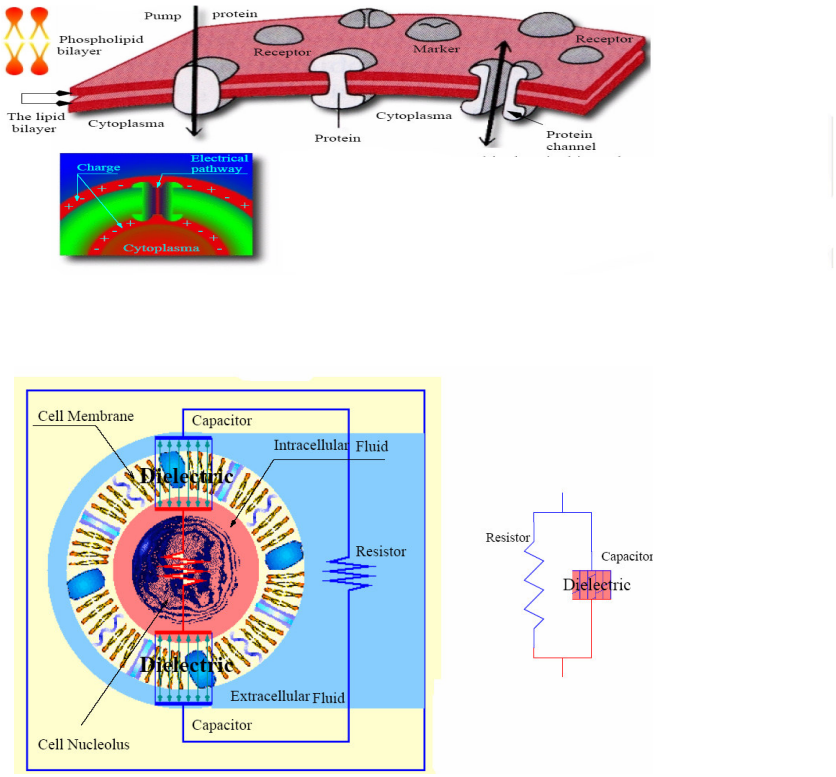
olup burada E_{out} = çıkış sinyali, E_{in} ise giriş sinyalidir. θ ise faz açısıdır [5].

2.8. Biyoelektrik Empedans Analizi

Biyoelektrik empedans analiz metodu, vücut dokularının yapısına bağlı olarak elektrik iletimindeki farklılıkların tespitine dayanan, endokrinoloji, nefroloji, kardiyoloji gibi klinik birimleri başta olmak üzere birçok klinik ve de spor bilimlerinde vücut kompozisyon analizi için sık kullanılan bir yöntemdir [12].

BIA vücut kompozisyonunu değerlendirmede kullanılır ve bunun doğru değerlendirilmesinde önemli bir araştırma konusu olup, uygulanan birçok yöntemden bir tanesidir. Vücut kompozisyonunu belirlerken vücut değişik bölümlere ayrılarak incelenir. Bu yöntemde doku yatağına elektrotlar aracılığıyla değişik frekanslarda alternatif akımlar verilir ve uygulanan voltajdaki düşme 'impedans' olarak tespit edilir. İmpedans, dokunun elektrik akımına karşı gösterdiği dirençtir ve iletkenlikle ters orantılıdır. Elektrolitten zengin sıvılar elektrik akımı için, yağ ve kemik dokusundaki minerallere göre daha fazla direnç oluştururlar. 50 kHz gibi yüksek frekanslar hücre membranlarını geçerek tüm vücut suyunun miktarını verirken, 1 kHz gibi düşük frekanslar hücre membranını geçemez ve sadece ekstraselüler sıvı miktarını verirler. Elde edilen impedans değerinin sabit denklemlerde yerine konulması ile; vücut yağ yüzdesi (% F), vücut yağ miktarı (FM), yağsız vücut yüzdesi (% LBM), yağsız vücut kitlesi (LBM), vücut su yüzdesi (%W), vücut su miktarı (TW), vücut kitle indeksi (BMI) gibi vücut bileşenleri hesaplanmaktadır [13].

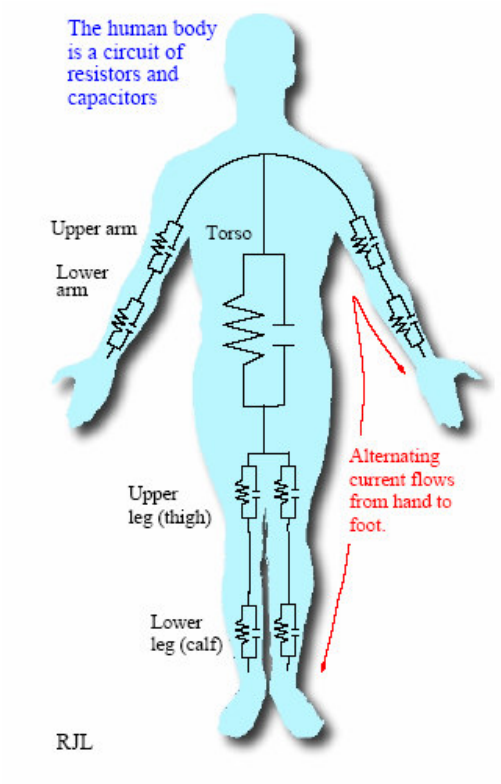
Biyoelektrik empedansın kimyası, elden ayağa kadar tüm vücutta alternatif akım kullanarak, rezistans ve reaktans hesaplamalarına dayanan, toplam vücut değerlerinin belirlenmesi yöntemidir. Vücuda bağlanan elektrotlar, 50 kHz lik alternatif akımı el ve ayak parmaklarına iletmektedir. İletilen akım ayak ve el bileklerinde voltaj değişimine neden olmaktadır ve bu değerler ölçülmektedir. İnsan vücudunda bir çok kompleks heterojen elektrik devreleri yer almaktadır. Bunların birçoğu hücrelerde ve hücrelerin etrafında bulunmaktadır. Bu hücreler elektriksel karakterde kapasitör formunda bulunmaktadırlar ve belli bir rezistans değerine sahiptirler. Ayrıca insan vücudunun belli kısımları da (kollar, bacaklar, vb.) geometrik çaplarına bağlı olarak elektriksel karakterdedirler. Silindirin küçük bir çapı tüm silindire göre daha yüksek rezistans değerine sahiptir. Örneğin, kolların ön kısmı tüm vücuda göre daha yüksek rezistans ve reaktans (empedans) değerine sahiptir. Şekil 2.6'da BIA ölçümünde elektrik sinyalinin hücre içerisinde protein kanallarından nasıl aktarıldığını ve hücrenin nasıl kapasitör görevi sergilediğini göstermektedir [14].



Şekil 2.6. Hücrenin plazma memranı ve elektriksel işlevi [14]

Hücre içerisinde elekriksel kapasitör ve rezistans birbirine paraleldir. Kapasitans intraselüler sıvı hacmini ve rezistans ekstraselüler sıvı hacmini açıklamaktadır. Hücre sınırlarının dışı fosfolipid moleküller içeren plazma memranı ile çevrilidir ve radyo frekans sinyalleri gönderildiğinde dielektrik değeri veren, elektriksel kapasitör özelliği göstermektedir [14].

Şekil 2.7'de insan vücudundaki elektrik akımını sağlayan resistör ve kapasitörler görülmektedir.



Şekil 2.7. İnsan vücudundaki rezistör ve kapasitörler [15]

BIA, bilimsel olarak hastalıklarda ve tedavilerinde gerekli olan vücut sıvı miktarının ölçülmesinde kullanılmaktadır. BIA hesaplamalarında cihaz ile ölçülen rezistans ve reaktans değerlerinden yararlanılmaktadır [15].

Rezistans (ohm) = değişen voltaj değeri(volt) / akım(amper)

Reaktans (ohm) = 1.0 / 2 x 3.1428 x frekans (Hertz) x kapasitans (farad)

İnsan vücudu yüksek oranda su ve elektrot içermekte ise çok düşük rezistans değeri okunur. Vücut az miktarda elektrot içeriyor ya da yüksek bir rezistans değerine sahip ise düşük değerde sıvı içermektedir [16].

BIA, vücut kompozisyonlarının ölçülmesinde hızlı ve ağrısız bir yöntemdir. Vücut kompozisyonundan kasıt vücudun belli kısım ve değişik bölümleridir. BIA, kasların ve organların içerdiği vücut sıvısındaki değişimi, kilo ve vücut ağırlığındaki değişimin hesaplanmasına yardımcı olur. Eğer kiloda yüzde oranında değişim sezinleniyorsa, BIA cihazı ile direnç ya da impedans değerlerinin ölçümü ile vücuttaki sıvı değişimleri gözlenebilir. Bu ölçüm değerleri bir diyetisyen veya doktorla değerlendirilip sağlıklı bir yaşam çizilebilir [17].

BIA cihazı ile ölçüme başlanılmadan önce bazı önemli ön hazırlıklar ve dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. İlk olarak vücudunuza çok düşük değerde elektrik akımı gönderilmektedir, fakat bunu hiç hissetmezsin. Yalnız eğer kalp düzenleyici cihazınız veya herhangi bu tarz bir otomatik alet kullanıyorsan BIA ölçümüne tabi tutulamazsın. Aşağıdaki şu noktalar BIA ölçümlerinde önemlidir [17].

• Tüm metal takılar çıkarılmalıdır. Metal parçalar kuvvetli indüklemeden dolayı, hatasız sonuç verilmesini engeller.

• Ölçümlerden en az 8 saat önce terlememek için egzersiz veya benzer aktiviteler yapılmamalıdır. Böylece vücut sıvı değerinin doğru ölçülmesini sağlar.

• Ölçümden yaklaşık 12 saat önce alkol ya da kafein içeren içecekler içilmemelidir.

• Ölçümden önce kişinin tuvalete gidip gitmediği sorulmalıdır. Kişi diare (ishal) ise, BIA ölçümünde vücut sıvı miktarının doğru ölçümü imkansızlaşır.

• Kilo ve boy ölçülmeli, önce boy belirlenmeli, kilo ise her ölçümden önce yinelenmelidir. Kişinin kilosu üzerinizdeki ağır kıyafetler ve ayakkabılar çıkarılarak ölçülür.

• Ölçümden önce düz bir yere uzanmak, sağ ayakkabı ve çorabı çıkartmak gerekmektedir.

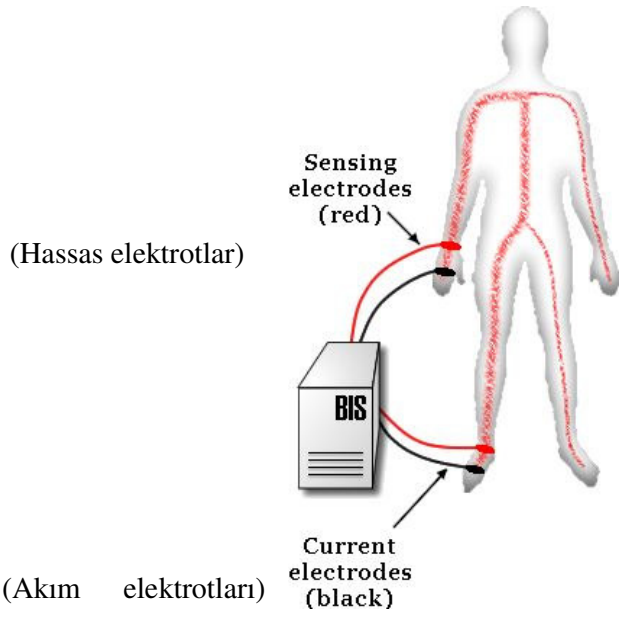
• İki elektrot sağ el, iki elektrot ise sağ ayak bilek ve parmağına yapıştırılır. Eğer elektrotların yapıştırıldığı alanlarda çok fazla kıl var ise, elektrotlar çıkarılırken kişi acı hissedebilir.

• Ölçüm için uzanılmalıdır. Elektrotların yapıştırılıp ölçümün yapılması bir dakikadan az sürmektedir.

• Yaş, cinsiyet, boy ve kilo ölçümden önce bilgisayara kaydedilmelidir. Daha sonra ölçülen rezistans ve reaktans değerleri ile birlikte vücudun kompozisyon değerleri hesaplanır [17].

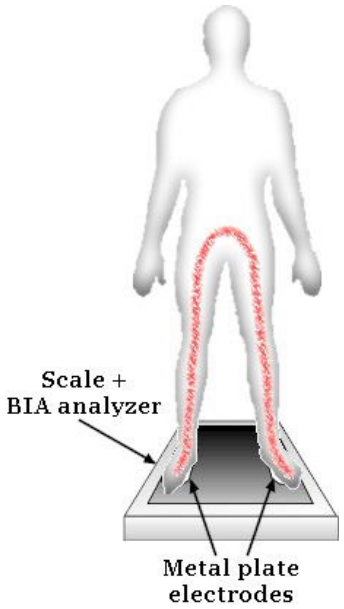
2.8.1. Şematik Olarak Biyoelektrik Empedans Teknikleri

Çeşitli bioelektrik empedans ölçüm teknikleri bulunmaktadır. Bunlardan ilki aşağıdaki Şekil 2.8'de görüldüğü gibi elektrotların el ve ayağa bağlanması ile gerçekleştirilmektedir. Rezistans ölçümü için elektrotların elektrik akımı iletmesi gerekir. Piyasada kullanılmaya hazır başka türlü bioelektrik empedans cihazları bulunmaktadır. Bu cihazların özelliği ise BIA yı birkaç skalaya ayırmalarıdır. Sonuçları vücut ağırlığına göre simüle ederek vermektedir. Bunlarda, düşük mertebede bir ac elektrik akımı vücutta dolaştırılır ve genellikle elektrotlar aynı yöndeki kol ve bacak bilekleri arasına bağlanır. Bazen de bağlantı çapraz olabilir. Bu cihaz Şekil 2.8'de gösterilmektedir [18].



Şekil 2.8. Dört elektrot kullanılarak yapılan BIA ölçüm metodu [18]

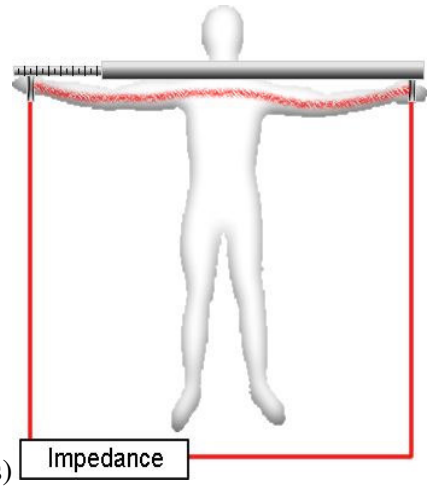
(BIA analiz skalası)



(Metal levha elektrotu)

Şekil 2.9. İkili elektrot kullanarak yapılan ölçüm metodu [18]

Üçüncü BIA tekniğinde ise elektrik akımı koldan kola iletilmektedir. Kollar arası uzunluk testten önce ölçülür ve hesaplamaya dahil edilir. Akım vücudun üst kısmında dolaşmaktadır. Bu teknikte Şekil 2.10'da görülmektedir.

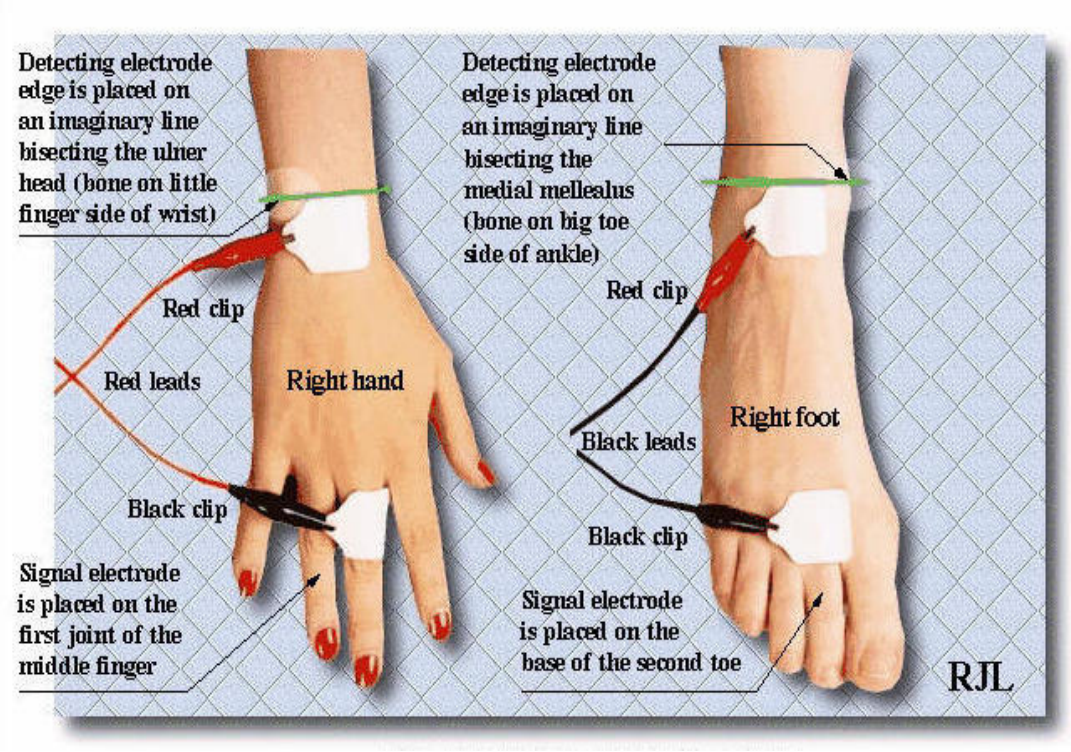


(Empedans)

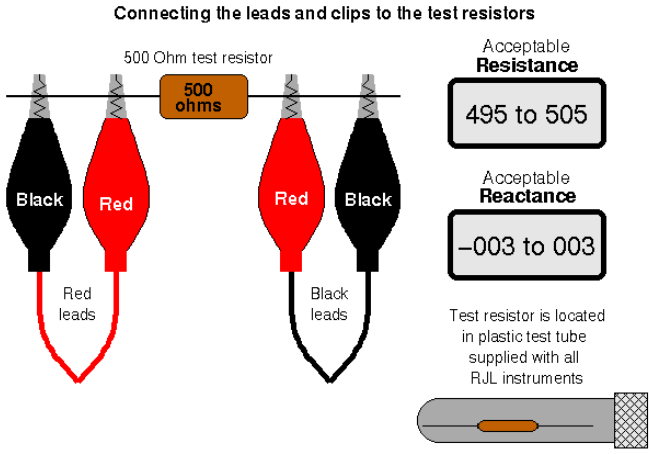
Şekil 2.10. İkili elektrotla koldan kola uygulanan ölçüm metodu [18]

2.8.2. BIA Sisteminde Kullanılan Elektrotlar ve Özellikleri

Test yapılmadan önce vücut komponentleri ölçülecek kişi düz bir yere yatırılır, iki kollar yana ve bacaklar hafif açık düz bir şekilde uzatılır. Üzerindeki tüm metal ve benzeri elektrik sinyallerini etkileyecek nesneler çıkartılır. Dört elektrot Şekil 2.11'de görüldüğü gibi el, ayak bilek ve parmaklarına yapıştırılır. Cihazın kablolu telleri elektrotların ucuna takılır ve ölçüm maksimum bir dakika sürmektedir. Kişi herhangi bir şekilde kendini zorlayacak aktivitede bulunmuş ise, en az 10 saat sonra ölçüm yapılabilmektedir. Ölçüm yapılacak kişi düz bir zemine uzandıktan 5-10 dakika sonra ölçüm alınmaktadır. Bunun sebebi ise, bu zaman süresince vücut sıvısı belli dengeye ulaşıp vücudun her yerine yayılmaktadır. Ayrıca ölçüm alınırken kişi heyecanlanmamalı, kalp atışları düzenli olmalıdır [19].



Şekil 2.11. Elektrotların bağlanma şekli [19]



Şekil 2.12. Test direncine krokodillerle bağlantı [20]

500 ohm'luk test dirençleri BIA ölçüm sisteminde kullanılmaktadır. Şekil 2.12'de görüldüğü gibi iki adet siyah, iki adet kırmızı plastik krokodiller alternatif akımı taşıyan tellerin etrafını sarmaktadır. Uçlarında krokodil bulunan bu plastik kablolar, ölçüm esnasında vücuda yapıştırılan elektrotlara takılır ve empedans değerleri cihazdan okunur. Ölçüm yapılmadan önce dikkat edilecek en önemli nokta ise, cihazın çalışması için gerekli olan 9V luk bataryanın tam dolu olup olmadığının kontrol edilmesidir. Şayet batarya tam dolu değil ise, cihazın çalışmasında aksaklıklar çıkabilir ve okunan empedans değerlerinin güvenilirliğinden şüphelenilebilir [20].

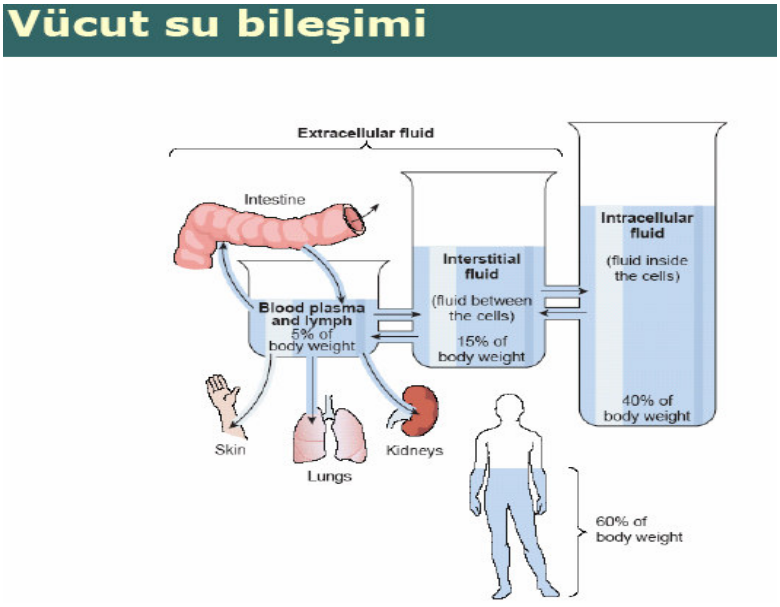
2.9. Vücudun Vazgeçilmezi "SU"

Su dünyamızda bolca bulunan bir bileşik olup katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilir. Su canlılarda çok önemli düzenleyici görevler üstlenmiştir ve yaşam için zorunludur ancak diyete enerji sağlamaz. İnsan vücudunda hiçbir bileşik su kadar çok bulunmadığı gibi değişik görevlerde üstlenmemiştir. Canlıların vücudunda su dengesinde oluşabilecek bozulma ağır fizyolojik bozukluklarla sonuçlanabilir. Bu durumda yaşam kısalabilir veya sonlanabilir. Diğer besin öğelerinde yetersizlik olsa da vücut uzun bir süre (aylarca hatta yıllarca) canlı kalabilir. Fakat su olmadığı zaman sadece birkaç gün yaşayabilir. Bu nedenle su yaşamın sürdürülmesinde çok önemli bir belirleyicidir [21].

2.9.1. İnsan Vücudunda Su Miktarı ve Dağılımı

Su insan yaşamında oksijenden sonra gelen en önemli öğedir. İnsan yemek yemeden haftalarca idare edebilse de, susuzluğa ancak birkaç gün dayanabilir. Vücudumuzda CHO'lar ve yağın tümü, proteinlerin yarısı, vücut suyunun ise % 10'u yitirildiğinde yaşam tehlikeye girer. Canlıların miktar olarak büyük bir kısmını oluşturur ve toplam vücut ağırlığımızın %50-60'ını kapsamaktadır. Kesin miktar yaşa, cinsiyete ve vücuttaki yağ miktarına göre değişir. Erkeklerde bu oran %60'lardayken, kadınlarda %52'lere düşmektedir. Çünkü kadınlarda daha fazla yağ bulunur. Yeni doğmuş bir bebeğin vücudundaki su oranı % 75 kadardır ancak büyüme ile birlikte bu oran %60'a düşmektedir [22].

İnsan vücudundaki su başlıca iki bölümde bulunur. Bu bölümler intrasellüler (hücre içi) sıvı ve ektrasellüler (hücre dışı) sıvı şeklindedir. Su, hücre memranları tarafından oluşturulmuş bu iki büyük sıvı kompartmanına dağılmıştır. Hücre içi sıvı toplam vücut suyunun %60'ını oluşturur. Buna karşılık hücre dışı sıvı (kan plazması, lenfa, hücreler arası) toplam vücut suyunun %40'ını oluşturur.



Şekil 2.13. Vücutta suyun bulunma yerleri [23]

İnsan vücudundaki su eşit şekilde dağılmamıştır. Bazı dokularda (örneğin kemikler, dişler ve saç gibi) daha az miktardadır. Kandaki su miktarı %83 iken bu oran yağ dokusunda sadece %10'dur [23]. (Tablo 2.4)

Tablo 2.4. İnsan vücudundaki doku ve organların hacimce su bileşimi [25]

Dokular	Su Miktarı (%)
Kan	83.0
Böbrekler	82.7
Kalp	79.2
Akciğer	79.0
Dalak	75.8
Kaslar	75.6
Beyin	74.8
İnce barsaklar	74.5
Deri	72.0
Kemikler	22.0
Yağ dokusu	10.0

2.9.2. İnsan Vücudunda Suyun Görevleri

Büyümemiz ve vücudumuzun bakımı için ona gereksinim duyuyoruz. Çünkü vücudumuzda gerçekleşen çok sayıda biyolojik işlemde suyun önemli görevi var. Hücre yapısını koruma, vücudumuzdaki kimyasal reaksiyonların gerçekleşebilmesi için bir çözücü oluşturma, besin ve oksijen taşıma, toksinlerden ve atık maddelerden kurtulmamızı sağlama bu görevlerden bazılarıdır. Ayrıca, sindirime ve eklemlerin işleyişine, zayıflamaya, cilt güzelliğine ve yaşlanma izlerini geciktirmeye de yardımcı olur [24].

Su diğer elzem besin öğelerine benzemez ve vücutta fazla miktarda kimyasal tepkimeye uğramaz. Örneğin proteinler sindirim sırasında aminoasitlere parçalanırken suyun çoğunluğu vücutta değişime uğramaz. Vücuttaki bileşikleri çözebildiği gibi onları kolloidal halde tutabilir ya da taşıyabilir. Ayrıca geniş bir sıcaklık aralığında sıvı halini

koruyabilmekte ve yaşam için gerekli binlerce tepkimenin oluşmasına uygun bir sıvı elektrolit ortamı sağlamaktadır [24]. Suyun vücuttaki başlıca görevleri şunlardır:

a) Çözücülük görevi: Katı maddeler için uygun bir çözücü olup vücutta elektroliti oluştururlar. Tüketilen besinler sindirilirken, çözelti içinde ince barsak duvarlarından taşınırken ve hücre memranlarından geçerken suya gerek duyarlar. Suyun en dikkate değer görevlerinden birisi de kandaki bileşenler için çözücülük görevini üstlenmiş olmasıdır (elektrolit) [24].

b) Taşıyıcılık görevi: Kan, idrar, ter ve hücre dışı sıvıların başlıca bileşeni sudur. Su kanın bileşenlerini taşır [24].

c) Vücut sıcaklığını koruma: Su vücudun sıcaklık sistemini düzenleyici olarak görev almıştır. Vücutta besin öğelerinin sindirimi ve kullanılması, kasların kasılması endergonik tepkimelerdir ve bu işlemlerin sonunda yüksek miktarda ısı açığa çıkar. Bu sırada vücudun sıcaklığını normal değerinde korumak gerekir. Örneğin; karışık besinlerden oluşan bir öğündeki besinlerin enerji miktarlarının % 10-15 kadarı vücutta sindirim, emilme, taşınma ve metabolize olmaları için harcanır. Bu sırada vücutta bir ısı açığa çıkar. Yine kasların kasılması için kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüştürülürken enerjinin sadece %25-30'u verimli kullanılır ve enerjinin geri kalan % 70-75'lik kısmı ise ısı olarak açığa çıkar. İşte bu gibi durumlarda üretilen ve açığa çıkan fazla enerjiyi su tutar. Böylece vücuttaki kimyasal proteinleri ve enzimlerin hasara uğraması engellenmiş olur.

Suyun sıcaklığını arttırmak için diğer sıvı maddelere göre daha fazla ısı gerekir. Çünkü öz ısısı yüksektir ve sıcaklık değişimi yavaştır. Bundan dolayı vücudun hemen ısınmasını ve soğumasını önlemede yardımcıdır. Kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan ısı vücut sıvılarına aktarılır. Deri yüzeyinden buharlaşma, ışıma, iletim ile fazla ısı vücuttan çevreye verilir. Suyun deriden buharlaşması, vücudun serinlemesini sağlayan bir mekanizmadır. Bunun sonucu olarak vücut sıcaklığı sabit bir seviyede tutulmaktadır [24].

d) Doku yağlama: Su eklemlerde bulunan sıvının, hücre duvarları ve sıvı ile kaplı olan dokuların en büyük bileşenidir. Vücudun hareketli kısımları arasında yağlayıcı etki gösterir ve sürtünerek aşınmalarını önler [24].

2.9.3. İnsan Vücudunda Su Alım ve Atım Yolları

Vücudumuz gereksinim duyduğu suyu üç kaynaktan sağlıyor. Su ve diğer içeceklerden ve meyve ve sebzeler başta olmak üzere katı gıdalardan alınan su, ana kaynağımızı oluşturmaktadır. Diğer kaynaksa, normal vücut metabolizmasının ürünü olan metabolik sudur. Metabolik su (endojen) karbonhidrat, yağ, protein gibi besin öğelerinin oksidasyonu sonucu yan ürün olarak ortaya çıkıyor [39].

1 g karbonhidrat yakımı ile 0,60 g,

1 g protein yakımı ile 0,41 g,

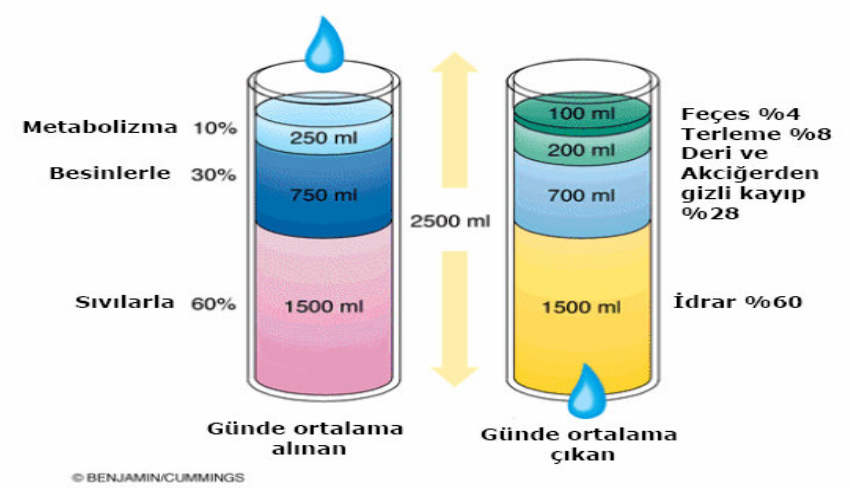
1 g yağ yakımı ile 1,07 g su oluşur.

Su alım ve atım takibine veya hesaplanmalarına 'Su Bilançosu' denilmektedir. Su bilançosu yapılır iken endojen su miktarı az olduğu için pek göz önüne alınmaz [39].

Vücutta oluşan zararlı atık maddeler değişik yollarla atılmaktadır. Vücuttan yitirilen suyun yerine konması gerekir. Besinler ve içeceklerle alınan su ile vücuttan kaybedilen su miktarı dengede olmalıdır. Bu durum Tablo 2.5' de özetlenmiştir.

Tablo 2.5. Ilık iklim koşullarında insan vücudunda su dengesi [25]

Su Kayıpları (mL)			**Su Alımı (mL)**
Deriden ter yolu ile	500mL (%20)	İçecekler	1500mL (%60)
Solunum yolu ile	400mL (%16)	Besinlerle	700mL (%28)
Dışkı ile atım	100mL (%4)	Metabolik su	300mL (%12)
İdrar ile atım	1500mL (%60)		
Toplam	**2500mL**		**2500mL**



Şekil 2.14. Vücuttaki suyun dengesi [23]

Vücudumuza su alınımını ayarlayan en önemli mekanizma **susama duyusu- hissi**dir.

Susama merkezi; beyinin hipotalamus bölgesinde, yemek yemeyi ayarlayan merkezler (appestat) ve vücut suyunun korunmasını sağlayan vazo-pressin hormonunun, üretilme merkezinin yakınında bulunur.

Vücuttan %0.5-1.0 oranındaki su kaybı ile susama merkezi uyarılmaktadır. Susama merkezinin duyarlılığı, fizyolojik sınırlar içinde olmakla birlikte;

- Alışkanlıklara,
- Yeme- içme adetlerine,
- Çevre koşullarına göre oldukça farklılık göstermektedir.

Vücuttaki tuz miktarı ise susama merkezini etkilemez. Bu nedenle aşırı sıcak ortamda çalışanlar terleme ile suyun yanında aşırı tuzda kaybedebilirler. Bu şartlarda susama hissi oluştuğu halde tuz kaybına ait bir sinyal oluşmamaktadır. Bu durumlarda ek tuz verilir veya tuz tabletleri kullanılması önerilir [39].

Vücutta oluşacak su kaybı sonucu kan plazmasının yoğunluğu %1 artınca, beyindeki susama merkezi uyarılır ve susama hissi gelişir. Birey su veya su yerini tutan içecekler tüketir. Normalde her kalori için 1-1.5 mL su alınmalıdır. Yemekle birlikte alınan su sindirimi kolaylaştırır. Özellikle yaşlı ve diş sorunu olan bireyler yemeklerini sulu ve

yumuşak şekilde almalıdır [25]. Bazı besin ve içeceklerdeki su miktarı Tablo 2.6' da verilmiştir.

Tablo 2.6. Bazı besinler ve içeceklerin su içerikleri [25]

Besinler	**Su Miktarı (%)**	**İçecekler**	**Su Miktarı (%)**
Marul, domates	95	Maden suyu	100
Turp	94	Bira, kolalı gazoz	90
Lahana	92	Meyve suları	87
Havuç, patates	90	Süt	87
Limon	87	Şarap	85
Elma, kiraz	85	Votka	62
Çiğ tavuk eti	72	Viski	60
Çiğ yağsız et	60	Rakı	51
Peynir	37		
Beyaz ekmek	35		
Salam	30		
İşlenmiş ürünler	28		
Bal	20		
Kurutulmuş meyveler	18		
Tereyağı, margarin	16		
Buğday unu	12		
Makarna	12		
Süt tozu	4		

Görüldüğü gibi doğada bol miktarda bulunan ve değeri bilinmeyen, yine basit molekül yapısı nedeni ile basit bir bileşik ya da molekül olarak görülen su; insan sağlığı, yaşamı

ve doğa açısından çok önemli ve hayati görevler üstlenmiştir. Yaşam için besinden de önemli olan suyun değerini anlamak ve gereken önemi vermek, dünyamızdaki kaynakları dikkatli kullanmak insanların öncelikli görevlerinden olmalıdır [39].

Su vücudumuzdan idrar ve dışkı dışında buharlaşmayla cildimizden ve akciğerlerimizden atılıyor. Deri ve akciğerimizden atılan su hissedilmeyen su kaybı olarak değerlendiriliyor ve bu kayıp yüksek sıcaklıklarda, yüksek rakımlarda ve kuru havalarda artıyor. Gözle görülür terleme olmadığı zamanlarda bile, su kaybının yaklaşık yarısı akciğerlerden ve deriden oluyor. Sıcak havalarda terleme oranı saatte 2500 mL gibi yüksek değerlere çıkabilir; ancak, 500 mL/saat su kaybı normal karşılanabilirken ortalama değer 300 mL/saat kabul ediliyor [39].

İnsan vücudunda su atımı 4 yolla olmaktadır.

I. Deri yolu ile (terleme):…….500mL

Deriden buharlaşma yolu ile kaybedilen sudur. Bu miktarı belirleyen en önemli faktör ortamın ısısıdır. Ateşli hastalıklarda bu yol ile çok su kaybedilebilir [39].

II. Akciğerler yolu ile (nefes):…….300mL

Dışarıya verilen soluk havası 37ºC nemle doymuştur. Bu nedenle akciğerden nefes ile atılan su havanın nemlilik derecesine bağlıdır. Ortamın havası ne kadar kuru ise bu yolla o kadar fazla su kaybedilir. Ayrıca havanın oksijen basıncının düşmesi ile solunum sayısı ve dakika solunum hacmi de o oranda artar [39].

III. Gastrointestinal yol ile (dışkı-feces):……...200mL

Tükürük, pankreas salgısı, mide salgısı, safra ve ince bağırsaklardaki bezlerin salgısı ile günde ~8 lt kadar su GİS'e geçmekte ise bu suyun büyük bir kısmı geri emilmektedir. Normal şartlarda bu yolla kaybedilen su önemsizdir. Ancak özellikle bebek ve çocuklarda, aşırı kusma ve ishal yolu ile önemli su kaybı, **dehidratasyon** gelişmesine neden olabileceğinden, bu yaşlarda oldukça önemlidir [39].

IV. Böbrekler yolu ile (idrar):……....1200mL

Su metabolizmasında böbrekler kilit organlardır. Günlük idrar miktarı vücuttan atılması gereken suya bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilir. İdrar genellikle plazmadan yoğundur. Böbreklerden su atımı vazopressin = Anti-diüretik hormon (ADH)'un kontrolü altındadır [39].

Vücutta su tutulması: **Ödem**

Vücudumuzdan günlük alınan sıvıdan daha az miktarda sıvı atılması sonucu oluşan tabloya denir. Bu fazla su derialtı dokularda toplanır. Vücutta ancak %10'dan daha çok su tutulduğunda klinik olarak ödem fark edilebilir.

Vücutta suyun azalması: **Dehidratasyon**

Vücuttan alınandan daha fazla su kaybedilmesine denir. Genellikle dehidratasyon tablosunun nedeni, şiddetli ishal ve/veya kusmalar sonucu kaybedilen sudan daha az su alınmasıdır.

Araştırmalar özellikle modern toplumlarda insanların birçoğunda, yeteri kadar su içilmemesi nedeniyle hafif derecede '*dehidrate-vücudun susuz kalması*' olduğunu ortaya koyuyor. Susama mekanizmasının iyi çalışmaması, suyun tadını pek sevmememiz, aşırı egzersiz ve aşırı sıcaklar gibi fiziksel faktörler dehidrasyona yol açmaktadır. Su kaybı fizyolojik sorunlara ve performans düşüklüklerine yol açar. Vücutta oluşan su kaybının bazı belirtileri vardır. Derinin elastikiyeti azalır, eller ve ayaklarda soğuma başlar, ileri hallerde ise bilinçsizlik dahi görülebilir [25,26].

Vücudumuzdan atılan suyun yerini tekrar doldurmamız gerekir. Oysa pek çok insan bunu yapmaz ve baş ağrısı, yorgunluk, sinirlilik, konsantrasyon bozukluğu, öğrenme zorluğu gibi belirtileri olan su kaybına uğrar. Kronik su kaybı, kabızlık, idrar yolları enfeksiyonu ve böbrek taşı oluşumu gibi sağlık sorunlarına neden olur. Pek çok insansa farkına varmadan su kaybına uğrar. Çünkü yeterli su içmemenin yanı sıra, kahve, kola ve alkol gibi idrar söktürücü özelliği olan kafeinli içeceklerden çok fazla tüketmek, sebze ve meyve ağırlıklı beslenmemek, havalandırma ve elektrikli aletlerin etkisiyle kuruyan ofis gibi ortamlarda uzun süre kalmak da su kaybına neden oluyor [25,26].

2.9.4. İnsan Vücudunun Günlük Su Gereksinimi

Genel ifade ile günlük su gereksinimi tüketilen kalori ile hesaplanmaktadır. Her bir kalori için 1 gramdır.

Tüm insanlar için genel günlük su gereksinimi miktarı belirlemek zor. Çünkü, bu gereksinimi belirleyen bir çok etken var. Cinsiyet, yaş, kilo, vücuttaki yağ miktarı, hava sıcaklığı, fiziksel etkinlik miktarı, su dışında tüketilen içeceklerin miktarı, yenilen besinlerin türü, hamilelik ve emzirme, bu gereksinimimizi azaltan ya da artıran etkenlerden. Yine de pratik olması açısından, enerji harcama ve iklim koşulları bakımından ortalama koşullarda yaşayan yetişkinlerde, harcanan her 1 kcal enerji için 1 ml su tüketilmesi gerektiği söyleniyor. Bu hesaba göre ortalama bir yetişkinin günde 2,5 litre su tüketmesi gerekiyor. Bu miktarın da 1.8 litresinin doğrudan içecekler yolu ile alınması gerekiyor. Çünkü, tüm içeceklerin ana bileşeni su olmasına karşın, kaybedilen sıvının yerine konması için en etkili içecek sadece su. Elbette, bu miktarın sıcak günlerde ve fiziksel etkinlik sırasında artırılması gerekiyor [21].

Yetişkinlerde günlük su devri toplam vücut ağırlığının %4'ünü oluşturuyor. Vücudun gereksinim duyduğu miktar, fark edilmeyen kayıpları da dengelemek için gerekli olan miktardır. Bu gereksinim özellikle iklim koşullarına göre belirginlik gösterir. Su kaybını belirleyen diğer etkenler, böbreklerin atık ürünleri vücuttan çıkarmak için gereksinim duyduğu miktardır. Bu da beslenme alışkanlığına göre değişiklik gösterir.

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, ortalama koşullarda yetişkin kadınların 2.2 L, yetişkin erkeklerin 2.9 L; yüksek sıcaklıklarda çalışan yetişkin kadın ve erkeklerin 4.5 L; hamilelerin 4.8 L; emziren kadınlarınsa 5.5 L su tüketmesi gerekiyor [21].

Hamilelikte daha fazla suya gereksinim duyulması, hücrelerin dışındaki sıvı bölgesinin artmasından ve *fetusun* ve *amniyotik sıvının* gereksinimlerinden kaynaklanıyor. Anne karnında bebeği çevreleyen *amniyotik sıvının* çok az olması durumunda, bebeğin aldığı besin ve oksijen miktarı azalıyor ve bebek doğum pozisyonunu alamıyor. Bu durum annede de bazı sıkıntılara yol açabiliyor. Bebeğin ultrasonda görüntülenmesi zorlaşabiliyor ve erken evre hamileliklerde bebeğin akciğer gelişimi olumsuz etkilenebiliyor. Tüm bunlar, annenin yeterli su tüketmesiyle engellenebiliyor. Emziren annelerin de, hem kendi sağlıkları için hem de süt oluşumu için, bebeklerine verdikleri sütle kaybettikleri sıvının yerini doldurmaları gerekiyor [21].

Bebekler ve çocuklarsa buharlaşma ile yetişkinlere göre daha çok su kaybediyor. Ayrıca, vücutlarındaki su oranının daha fazla, su devir oranlarının daha yüksek, terleme sistemlerinin daha az gelişmiş ve böbreklerinin büyüme için gerekli olan büyük miktarlardaki proteinleri tutma kapasitesinin sınırlı olması, çocukların daha kolay su kaybına uğramasına neden oluyor. Ancak, anne sütü ile beslenen bebeklere katı gıdalara geçene kadar su verilmesi gerekmiyor [21].

51 yaş ve üzeri insanlardaysa, erkekler için 3 litresi içeceklerden olmak üzere 3.7 L, kadınlar için de 2.2 litresi içeceklerden olmak üzere toplam 2.7 L su tüketilmesi gerektiği öneriliyor. Ancak bu değerler günde 60 dak ılımlı egzersiz yapan ve yaklaşık 2200 kcal'lik diyet uygulayanlar için geçerli. Aktif olmayan ve ılıman iklimlerde yaşayan yaşlıların su gereksinimi günlük 1-3,1 L arasında değişebiliyor. Ancak, yaşlı insanlar, hormon düzeylerindeki değişiklikler, böbrek işlevlerindeki azalmalar gibi fizyolojik değişiklikler nedeni ile su kaybına daha yatkın oluyorlar. Ayrıca yaşlanmayla birlikte toplam su miktarında da azalma oluyor. Örneğin, genç bir yetişkin erkekte %60'larda olan toplam su düzeyi, 80'li yaşlarda %50'lere iniyor. Ancak, bu fizyolojik değişikliklere karşın normal koşullarda vücut sıvı dengesi korunabiliyor. Sorunlar genelde çeşitli hastalıklar ve bunların tedavilerinin etkileriyle ortaya çıkıyor. Örneğin Alzheimer hastaları, 'susama' tepkisinin kaybolmasından dolayı su kaybı riskine daha fazla yatkın oluyorlar. Yaşlanmayla birlikte artan, kırıklarla sonuçlanabilen ve ölümlere neden olabilen düşme etkenlerinden biride su kaybı. Yalnız yaşlılarda su kaybı belirtileri genelde normal yaşlanma sürecinin etkilerinden dolayı yanlış yorumlanabiliyor. Sonuç olarak, kişi idrar yolları enfeksiyonu gibi başka bir hastalığa yakalanmadığı sürece, su kaybına uğradığı anlaşılmayabiliyor [21].

Suyun tüm bu yararlarına karşın aşırı fazlası da öldürücü olabiliyor. Suyun çok aşırı tüketildiği nadir vakalarda kandaki tuz seviyesi azalıyor ve beynin şişmesine neden oluyor. Bu da baş dönmesi, baş ağrısı, mide bulantısı, zihin karışıklığına yol açarken koma ve ölümle de sonuçlanabiliyor. Bu, çoğu insanın istese bile içemeyeceği bir miktar. Vücutlarındaki fazla suyu idrarlarıyla atamayan kronik hasta kişiler bu durum karşısında daha korunmasız olsalar da, su zehirlenmelerine nadir rastlanıyor. Reçineden geçirilmiş veya yumuşatılmış su ile saf suyun tüketimi de oldukça tehlikelidir. Bu tip su alımı ile vücuttan iyon taşınması söz konusu olur [21].

2.10. İnsan Vücudundaki Toplam Su Miktarının Belirlenmesi İçin Yapılan Değişik Çalışmalar

Toplam vücut suyu (vücut kompozisyonu) uzun yıllardır sabit bir yöntem olan, oksijen ve döteryum izotoplarının kullanılmasıyla ölçülmektedir. Zayıf kişilerin vücut ağırlıklarının hesaplanmasında da kullanışlı ve popülaritesi yüksek bir teknik olarak bilinmektedir. Bu yöntem, vücut ağırlığı hariç, tüm vücuttaki suyun hesaplanmasını içerir. Tüm araştırmacılar fiyatının düşük olmasından dolayı döteryum oksidi tercih etmektedir. Bu yöntem ile vücuttaki suyun yerinin belirlenmesi için hidrojen izotopları ile protein ve vücudun diğer bileşenleri yer değiştirmektedir. Suyun hacminin dağılımını oksijen18(^{18}O) ile kolayca bulunabilmekte ancak daha pahalı olduğundan ağır su ile yapılan ölçümler tercih edilmektedir [27].

Bu yöntemle ölçüm yapılmadan en az 2 saat önce, kişi çok hafif bir kahvaltı yapmış olmalıdır ve vücuda alınan D_2O veya ^{18}O kişinin vücut ağırlığının kg başına 0.15g'ını içermektedir. Alınan kan, idrar ve tükürük örnekleri 1mL'lik ölçüm tüplerinde -20°C'de buzdolabında bir süre bekletildikten sonra içerlerindeki su oranı hesaplanmaktadır [27].

Fransa'da J.C.Desport ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, para ve tetrapleik hastalarının normal olmayan vücut kompozisyonları, hidratasyonu ve zayıf vücut kütleleri biyoelektriksel empedans analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada vücuttaki toplam su miktarı hesaplanırken (Labeled Water Dilution) (Etiketlenmiş Su Seyreltme) (LWD) yöntemi referans alınmıştır. Yapışkan elektrotlarla vücuda çift frekans gönderilmiştir. 100 kHz'de empedans değerleri ölçüldükten sonra, aynı gün içerisinde oral yolla ^{18}O içeren su içirilmiş ve 4-5 saat beklendikten sonra tekrar ölçüm alınmıştır. TBW, hastaların salyalarındaki izotop oranından, kütle spektrometresi ile ölçülür. Yaş, cinsiyet, boy, kilo, nörolojik ve antrolojik kriterler kaydedilmiş, BIA ve LWD ile sonuçlar karşılaştırıldığında korelasyon 0.54- 0.86 olarak bulunmuştur [28,33].

A. Johansson, O. Samuelsson ve arkadaşları, peritoneal diyaliz hastalarının vücutlarındaki toplam su miktarlarını, antropometrik formülleri kullanarak hesaplamışlardır. 165 peritoneal diyaliz hastası üzerinde, trityum çözeltisi ile TBW ölçümü yapılmış ve antropometrik formül Watson formülü ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar her iki yöntemin birbiri ile özdeş olduğunu vermektedir ve 0.89'luk

korelasyon gözlenmiştir. İki formül de ölçümler için iyi birer seçenek olsa da, obezite ya da çok zayıflık hastalığı olan insanlarda Watson formülünün yetersiz kaldığı gösterilmiş, antropometrik formülle ise (r = 0.924 erkeklerde, r = 0.911 bayanlarda) korelasyon elde edilmiştir [29].

P. J Puiman, B. Master, H. Buntain ve arkadaşları, single frekansta bioelektrisel empedans yöntemi ile kistik fibrosisli çocuklarda toplam su miktarının belirlenmesine dayalı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, 56 çocuk(31 kız,25 erkek)- yaşları 4 ile 18 yaş arası- incelemeye alınmış, döteryum oksit çözeltisi verilerek vücutlarında kg başına 0.5 g %10'luk döteryum oksit gözlenmiştir. TBW ve (uzunluk^2/empedans) arasındaki ilişki TBW = 0.35 + 0.74 x (uzunluk^2/empedans) şeklinde hesaplanmıştır. Bu sonuç diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlarla uyum sağlamaktadır [30].

Carlo Donadio, G.Grassi, A.Lucchesi ve arkadaşları, belirli bir frekansın yanı sıra farklı frekansları da deneyerek biyoelektrik empedans analizi ile hemodiyaliz hastalarının vücut suyu ve vücut kompozisyonlarını belirleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma 15 yıldır diyaliz tedavisi olan 19 hasta (12 erkek, 7 kız)- yaşları 28 ile 82 yaş arası- üzerinde yürütülmüştür. Tek frekans BIA ve çoklu frekans BIA ile TBW, ekstraselüler su (ECW), vücut hücre ağırlığı (BCM) ve serbest yağ kütlesi (FFM) ölçülmüş ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar antropometrik formüllerle hesaplanan değerlerle kıyaslandığında TBW için düzgün bir korelasyon elde edilmiştir. Fakat ECW, BCM ve FFM için sf BIA ve mf BIA sonuçları uyum sağlamadığını gözlemlemişlerdir [31].

J. LaForgia ve R.T.Withers'ın yapmış olduğu çalışma, vücut yağlarının belirlenmesin de kullanılan değişik hesaplama yöntemlerinde $^2H^+$ asit çözeltisinin kullanılmasıyla, toplam vücut suyunun belirlenmesine dayanır. Bu çalışma için dört grup belirlenmiş ve belli dozda $^2H^+$ asit çözeltisi verilmiş, ilk verildiği anda ve 3-5 saat sonra periyodik ölçümler alınmıştır. $^2H^+$ asit çözeltisinin konsantrasyon miktarı salya ve idrarda izotop oran kütle spektroskoposi ile ölçülmüş, standartlara göre 0.999 korelasyon elde edilmiştir. Vücuda alınan ^2H_2O 'nun hidrojeni protein ve diğer komponentlerle reaksiyon verebileceği için sonuçlar tereddütlüdür [32].

O. Özçelik, A. Doğukan ve H. Kaya'nın yapmış oldukları çalışmada, hemodiyaliz hastalarında biyoelektrik impedans analiz yönteminin, vücut kompozisyonlarının belirlenmesindeki etkinliğini araştırmışlardır. Biyoelektrik impedans analizinin (BIA)

akut su kaybının olduğu durumlarda vücut kompozisyon ölçüm etkinliğinin ve klinik olarak kullanım güvenliğini belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Hemodiyaliz tedavisi gören 24 hastasının vücut kompozisyonları diyaliz öncesi ve sonrası ayaktan-ayağa ölçülüp değerlendirilmiştir. Pearson korelasyon analizi ve eşleştirilmiş t-testi sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanıldı ve $p<0.05$ önemli olarak kabul edildi. BIA vücut su miktarından etkilenerek vücut yağ oranını hatalı ölçmektedir. Vücut kompozisyon ölçümünün hayati oranda önemli olduğu obez, kardiyak problemli veya hemodiyalizli hastalar için karar verme durumunda BIA metodunun hatalı sonuçlar verebileceği göz önünde bulundurulması gerektiği gözlenmiştir [12].

A.Sifil, C. Çavdar ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma, vücut kompozisyonu değişikliklerini saptamada Dual-Enerji X-Ray Absorpsiyometri (DEXA) ve Biyoelektrik impedans yöntemlerinin, bir hemodiyaliz seansının etkisini saptamada karşılaştırılmasını içermektedir. Kronik böbrek yetmezliği (KBY), vücut kompozisyonunda değişiklikler oluşturan önemli bir süreçtir. Hastalar diyaliz öncesi ve sonrası elektronik tartı ile tartıldıktan sonra, DEXA ve BIA ile yağ miktarı, yağsız doku miktarı, vücuttaki toplam su miktarı saptanmış ve her iki yöntem arasında ($r = 0.6923$) korelasyon elde edilmiştir. BIA ile diyaliz öncesi ve diyaliz sonrası ölçülen değerler arasında anlamlı değişiklikler saptanırken, DEXA'nın yağ miktarı, yağsız doku miktarı, kemik doku miktarı ve toplam vücut suyu miktarlarını belirlemede oldukça duyarlı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [34].

3. BÖLÜM

YÖNTEMLER

3.1. Kullanılan Aletler

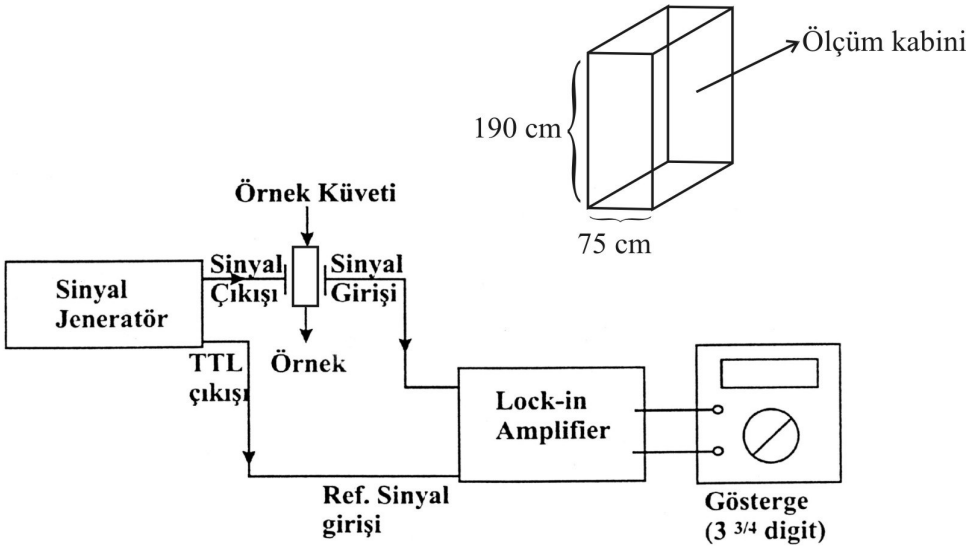
Bu çalışmada vücuttaki toplam su miktarını belirlemek için geliştirilen yeni bir kapasitansmetre kullanılmıştır. Ve buna referans olarak Bioelektriksel Empedans Analiz cihazı ile ölçümler alınmıştır.

3.1.1. Faz Duyar Kapasitansmetre

Deneysel çalışmalar boyunca ilk olarak 5205(EG&G) Lock-in Amplifier (LIA) kullanılarak geliştirilen bir kapasitansmetre kullanılmıştır. Bu ölçüm düzeneğinde f = 2917 Hz frekansta sinüzodial sinyal üreten osilatör kullanılırken, ikinci kez oluşturulan düzenekte ise Phase Sensitive Detector 9412 A (LIA) kullanılarak kapasitansmetre geliştirilmiş ve f = 54,452 kHz frekansta kare dalga üreten osilatör kullanılmıştır. Ölçüm düzeneğimiz sinyal üreten osilatör ya da sinyal jeneratör üreteci, Lock-in Amplifier (LIA), kapasitör hücresi ve göstergeden (digital multimetre) oluşmaktadır.

3.1.2. Oluşturulan Ölçüm Düzeneği

Vücuttaki toplam suyun dielektrik sabitine yönelik ölçüm cihazı ve bu cihazın yer aldığı blok diyagramları Şekil 3.1'de gösterilmekte olup teknik özellikler Tablo3.1'de verilmektedir. Ölçüm düzeneğinde örnek küveti şeklinde belirtilen kısımda ölçüm kabini yer almaktadır.



Şekil 3.1. Kapasitans ölçüm düzeneği ve hücrelerin blok diyagramları

Tablo 3.1. Deneysel kapasitans ölçüm düzeneklerinin teknik özellikleri

Lock-in Amplifier	EG&G/Princeton Applied Research 5205 Model Duyarlılık: 1 uV to 5 V rms Frekans Aralığı: 0.2Hz'den 200kHz'e kadar üç farklı aralıkta Giriş Modları: tek yönlü(0-5V) veya diferansiyel
	Ortec Brookdeal Phase Sensitive Detector 9412 Model Duyarlılık: 100 mVrms Zaman Sabiti: 300 ms Mode: Normal
Sinyal Jeneratör	Bremi Instruments Function Generator BRI 8510 Model Max: 2 MHz'e kadar Analog ve TTL çıkışlı 6 dijit LED-göstergeli
Yüksek Çözümlü Multimetre	TES 2360 LCR Multimetre 3 ¾ digit (LCD-göstergeli)

Kapasitansmetre	Lutron DWM, 3 ½ dijit LCD-göstergeli
Ölçüm Kabini	Ölçüm alınacak kişilerin içerisine girebileceği kabin, iki paralel alüminyum levhadan oluşmaktadır (kare prizma şeklinde, a=75cm ve b=190cm)

3.1.3. Faz Duyar Kapasitansmetrenin Çalışma Prensibi

Şekil 3.1'de blok diyagramı gösterilen sistemin çalışma şekli şöyledir; Sinyal üreteci ya da osilatörden istenen frekans ve istenen genlikte kare dalga veya sinüs dalga sinyali alınarak örnek kabinini oluşturan paralel iki levhadan birine bağlantı ile aktarılır, buna transmitter (aktarıcı) denir. Osilatörden alınan ve sinyal çıkışından izole ancak aynı faz ve frekanstaki bir başka kare veya sinüs dalga (ya da TTL-sinyal) referans olarak LIA'ya gönderilir. Örnek kabinine bakan ikinci levha (alıcı, receiver) ya indükleme ile aktarılan ya da yansıyan a.c sinyali alır ve direkt LIA'nın sinyal girişine uygulanır. Ancak diğer kapasitörlerde olduğu gibi hücremizde de sinyalin faz açısı referansa göre 90° kaymış olarak LIA'ya gider. LIA otomatik olarak ya da manual olarak sinyal ve referans işaretlerinin fazlarını çakıştırır. Böylece osilatör bir modülatör, LIA ise bir demodülatör olarak davranır. Kabindeki kişinin dielektrik sabiti büyüklüğüne göre yüksek frekansa (50 kHz) ayak uydurabilmesi sığa veya a.c. geçirgenlik değerleri şeklinde ölçülebilir. Ancak daima referans bir madde seçilmelidir ve çalışmamızla suyu ele aldık. LIA çıkışındaki sinyal tamamen referansa göre kişinin vücudundaki toplam suyun dielektrik geçirgenliğini verir. LIA 50 Hz gibi şebeke frekansı ya da harmoniklerinin girişimlerini, sürekli gürültü kaynaklarını bastırarak, kapasitans köprüsüne dayalı olarak çalışan normal bir kapasitansmetreye göre çok daha üstün bir performansla çalışmaktadır. Ayrıca sinyal girişi, çıkış sinyal büyüklüğü ile integrasyon zamanı, faz açısı gibi değişkenler istenildiği gibi ayarlanabilmektedir.

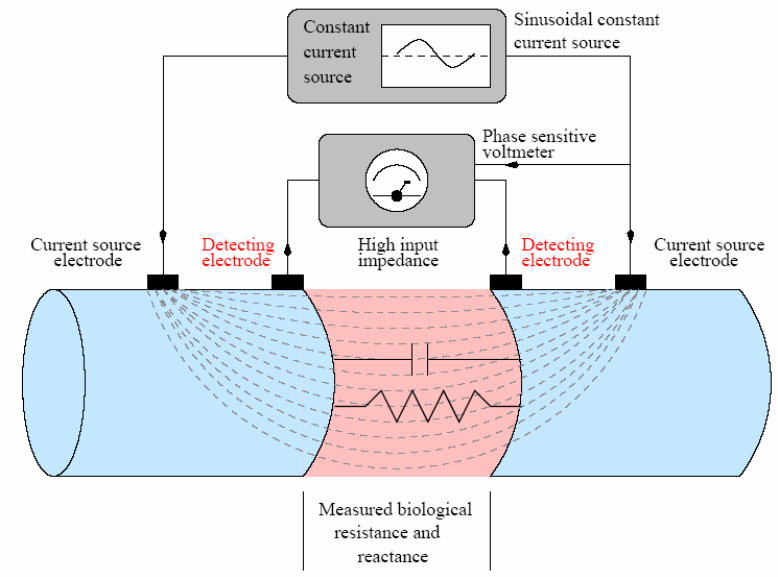
3.1.4. Biyoempedans Cihazı (BIA)

Yapılan çalışmada kullanılan diğer cihaz ise Bioempedans Analiz cihazıdır. Şekil 3.2'de görülen Bioelectrical Body Composition Analyzer RJL sistemi olup Quantum II modelindedir.



Şekil 3.2. Quantum II bioempedans cihazı

Cihazın üzerindeki ilk düğme açma kapama için, ikinci düğme rezistans değerini, en son düğme ise kapasitif reaktans değerini vermektedir. Bölüm II'de de anlatıldığı gibi cihaz rezistans ve kapasitif reaktans değerlerini direk olarak ölçmektedir. 50 kHz sabit frekansta sinüs dalgası içeren sadece durgun fazda duyarlı bir elektronik cihazdır. 9 volt alkali pil ile çalışmakta ve ölçülecek kişiyi tüm elektronik komponentlerden, pasif izolasyon sistemi ile izole etmektedir. Ölçüm alınacak kişinin yapması gereken ön hazırlıklar ve ölçüm esnasında dikkat etmesi gereken püf noktalar yine Bölüm II'de verilmiştir. Şekil 3.3'de cihazın çalışma prensibini görmekteyiz. Ölçümü alınan kişi üzerine yapıştırılan dört elektrot arasında aktarılan AC akımının nasıl iletildiği verilmiştir. Cihaz akım sınırlamalı ve sabit akım modunda çalışmaktadır.



Şekil 3.3. RJL BIA cihazının çalışma prensibi

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Yapılan Çalışmalarda Alınan Ölçümler

Bu çalışmada Gevher Nesibe Tıp Fakültesi Hastanesi Nefroloji Bölümünden alınan Biyoelektriksel Empedans (BIA) Cihazı ile empedans ölçümüne dayalı, bizim yapmış olduğumuz Lock-in Amplifier ile oluşturulan Faz Duyar Kapasitansmetre yardımıyla da dielektrik geçirgenliğe dayalı vücuttaki toplam su miktarının tespitine yönelik ölçümler alınmıştır. Çalışma enstrümantasyona da yöneliktir. Erciyes Üniversitesi Kimya Bölümü Öğrencileri ve 2.Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı Erleri üzerinde yapılan çalışmalar ve alınan ölçümler ile cihazların uyumluluğu gözlenmiştir.

4.1.1. Kapasitif Düzenekte Cihaz Kabini Boş İken Alınan Ölçümler

Çalışır durumdaki deneysel düzenekte öncelikle cihazdaki levhalar arası ayarlanmış, cihazda etraftan oluşabilecek hataları tespit etmek için boşken 10 kez (N=10) ölçüm alınmış ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

N= 10 için standart sapma verileri:

$\bar{X}$ = 2,76

S = 0,03

% BSS = 1,3

4.1.2. Hazırlanan Düzenekte Aynı Kişi Üzerinde Yapılan Tekrarlanabilirlik Ölçümleri

Kişinin cihaz içerisine girip çıkmasındaki oluşabilecek hataları tespit edebilmek için kişi cihaza 10 kez girip çıkmıştır ve seri ölçüm değerleri kaydedilmiştir. N = 10 için standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

N = 10 için standart sapma verileri:

$\bar{X}$ = 3,82

S = 0,02

% BSS = 0,6

4.1.3. Değişik Elektrotların Biyoempedans Cihazı İçin Denenmesi

Üç tip elektrot denenmiştir.

1- Cihazın kendi elektrodu

2- EKG Cihaz elektrodu

3- Jel elektrot

Bu üç elektrot aynı kişi üzerinde uygulanmış ve seri ölçümler alınmıştır. Değerler rezistans ve reaktans olmak üzere iki şekilde okunmuştur. N = 10 için standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

N = 10 için standart sapma verileri:

Rezistans (R)	Reaktans (Xc)	
$\bar{X}$ = 726	$\bar{X}$ = 83	EKG Cihaz elektrotu
S = 19,0	S = 25	
% BSS = 3,0	% BSS = 30	

Rezistans	Reaktans	
$\bar{X}$ = 687	$\bar{X}$ = 100	Jel elektrot
S = 27	S = 9,0	
% BSS = 3,9	% BSS = 8,9	

Rezistans	Reaktans	
$\bar{X}$ = 707	$\bar{X}$ = 74,6	Cihazın kendi elektrotu
S = 7,0	S= 1,7	Kişi yatarken alınan ölçümler
% BSS = 1,0	% BSS = 2,3	

Rezistans	Reaktans	
$\bar{X}$ = 619	$\bar{X}$ = 78,8	Cihazın Kendi elektrotu
S= 8,4	S = 3,0	Kişi otururken alınan ölçümler
% BSS = 1,4	% BSS = 3,8	

Değişik elektrotlarla yapılan denemelerden alınan sonuçların standart sapma ve bağıl standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

4.1.4. Zamana Karşı Aynı Kişi Üzerinde Faz Duyar Kapasitansmetre İle Ölçülen Geçirgenlik Değerleri (ε)

Ölçüm Zamanı	Vücuttaki Sıvı Değişimi	Geçirgenlik Değerleri (ε)
11:40	----------	3,47
11:41	1 Bardak Su İçimi	3,54
11:50	Tuvalete Gidiş	3,39
11:51	----------	3,25
		3,26
		3,25
		3,26
12:30	1 Bardak Su İçimi	3,36
12:45	1 Bardak Kahve İçimi	3,41
12:50	Tuvalete Gidiş	3,30
12:55	---------	3,41
13:05	--------	3,40

N = 12 için standart sapma ve bağıl standart sapma verileri:

$\bar{X}$ = 3,36

S = 0,10

% BSS = 2,8

4.2. Yapılan Ölçümlerin Grafik Değerlendirmeleri

4.2.1. Değerlendirmelere Etki Eden Parametreler

Deneysel çalışmalar boyunca vücuttaki toplam suyun dielektrik sabitine dayalı ölçümler alınmıştır. Alınan bu ölçümlere etki eden faktörler;

1- Cinsiyet

2- Yaş

3- Ağırlık

4- Boy

olarak belirlenmiştir. Bu faktörlerin, ölçülen geçirgenlik, rezistans ve reaktans değerlerine etkileri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada cinsiyet farkı başta ele alınmış ve erkek ile kadının vücutlarındaki toplam su miktarı farklı formüllerle hesaplanmıştır. Yaptığımız çalışmada aynı ağırlıktaki kişilerde her 10 cm de % 2,5 ve aynı boydaki kişilerde ise her 10 kg da % 7,8 oranında değişim hesaplanmıştır.

4.2.2. Yapılan Ölçümlerde Değişken Parametreler

Yaptığımız çalışmada Faz Duyar Kapasitansmetre ile *geçirgenlik*(ε), Bioempedans cihazı ile de *rezistans* ve *reaktans* değerleri ölçülmüş ve uygun formüllerle bu değişken parametreler kullanılarak insan vücudundaki toplam su miktarı L cinsinden hesaplanmıştır [37,38]. Hesaplamada

- Watson [37]

- Bioelectrical Impedance [38] formülleri kullanılmıştır.

Watson: Erkek TVS: 2.447- (0.09156 x yaş) + (0.1074 x boy) + (0.3362 x ağırlık)

Bayan TVS: -2.097 + (0.1069 x boy) + (0.2466 x ağırlık)

Bioelectrical Impedance : Erkek TVS : 1.203 + (0.176 x ağırlık) + 0.449 S^2/R

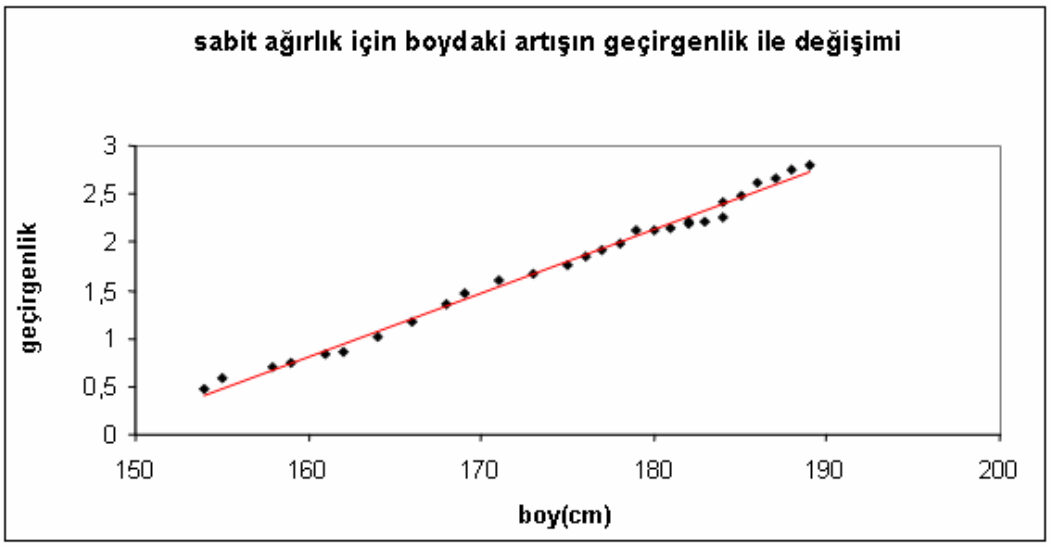
Bayan TVS : 3.747 + (0.113 x ağırlık) + 0.45 S^2/R

$[S^2/R]$: $(Boy)^2/R$

TVS: Toplam Vücut Suyu

4.2.3. Yapılan Ölçümlere Ait Grafik Çizimleri

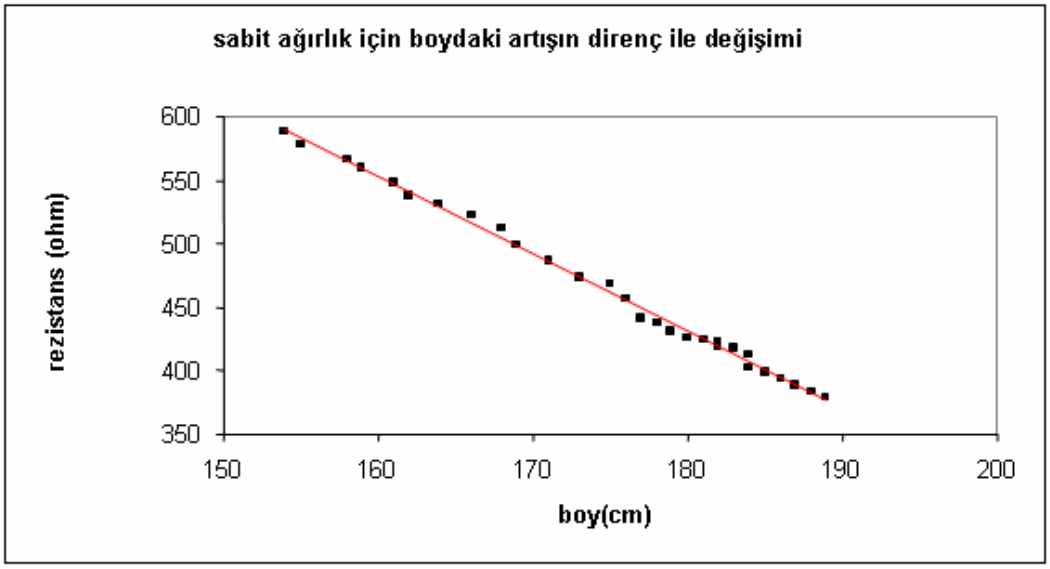
Yaptığımız çalışma üniversite öğrencilerini ve 2.H.İ.B.M.K'nın 86-4 Tertip askerlerini kapsamaktadır. Üniversite öğrencilerinde yapılan ölçümler erkek ve kızlar olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Çalışmaya 30 bayan, 60 erkek öğrenci katılmış olup ve yaşları 18-24 yaş arası değişmektedir. Ayrıca erkek öğrencilerle aynı yaşta olan 500 askerde de ölçümler alınmıştır. Yaptığımız çalışmada etki eden parametrelerden bazıları sabit alınıp, vücutlarındaki toplam su miktarları hesaplanmış ve değişimler grafiklerle belirtilmiştir. Grafik çizimlerinde y = A+Bx formülasyonu kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Erkeklerde boy (cm)'ye karşı geçirgenliğin değişimi

(Faz duyar kapasitansmetre ile erkek öğrencilerde alınan geçirgenlik değerleri)

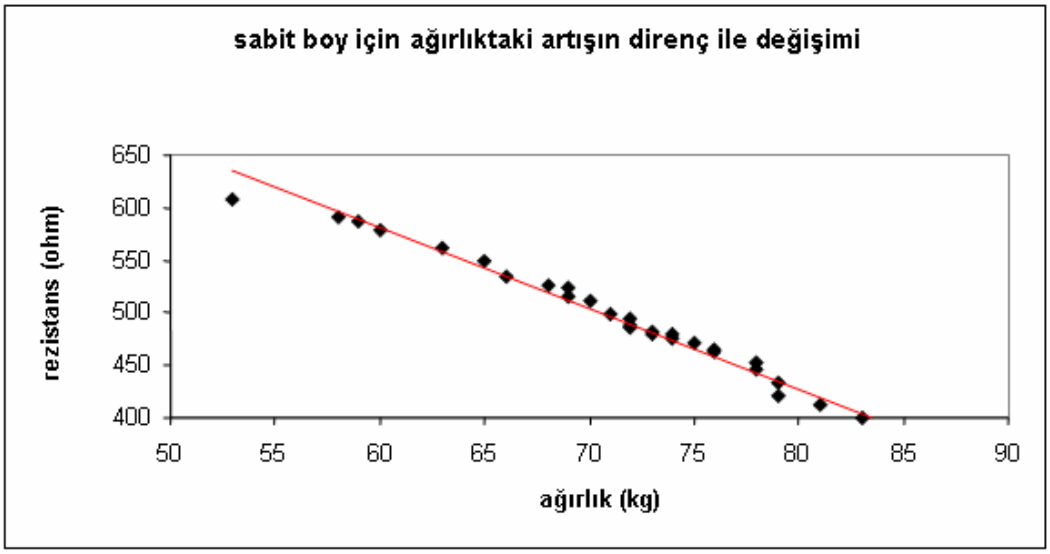
A = -10,02 B = 0,067 r = -0,998



Şekil 4.2. Erkeklerde boy (cm)'ye karşı dirençteki değişim

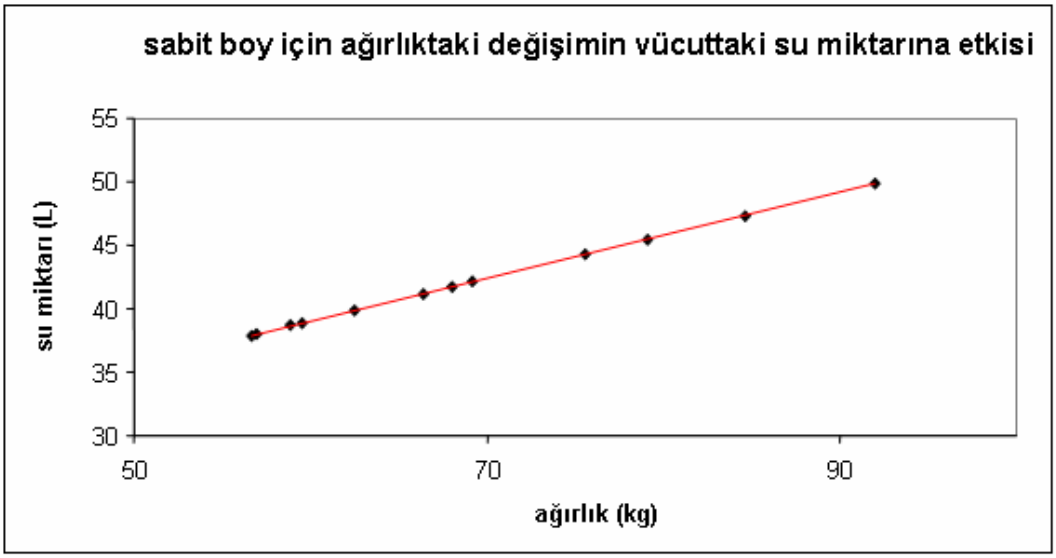
(BIA Cihazı ile askerlerde ve erkek öğrencilerde ölçülen rezistans değerleri)

A = 1528,4 B = -6,1 r = -0,998



Şekil 4.3. Erkeklerde ağırlık(kg)'a karşı dirençteki değişim

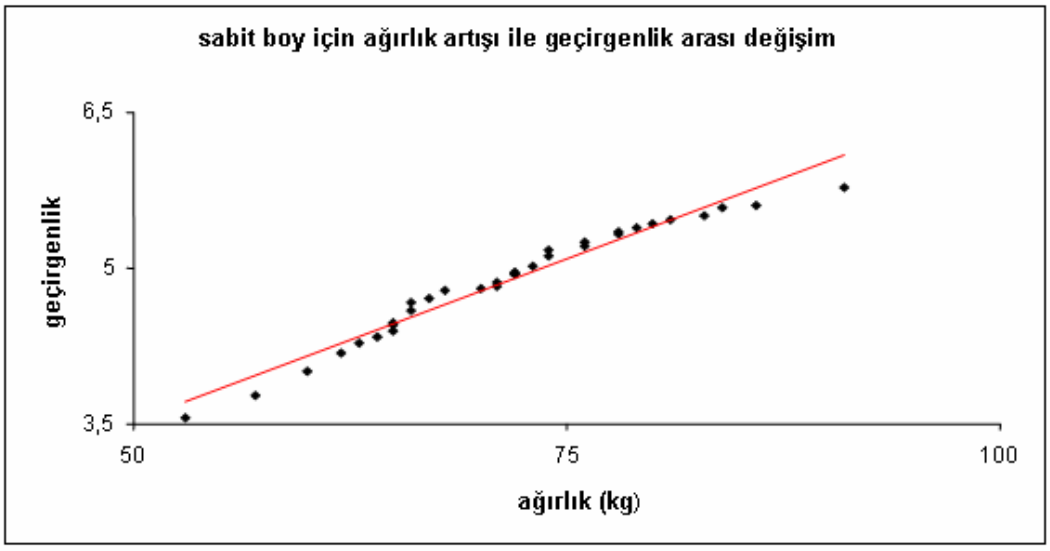
A = 1044,1 B = -7,72 r =- 0,998



Şekil 4.4. Erkeklerde ağırlık (kg)'ın vücuttaki toplam su miktarına etkisi

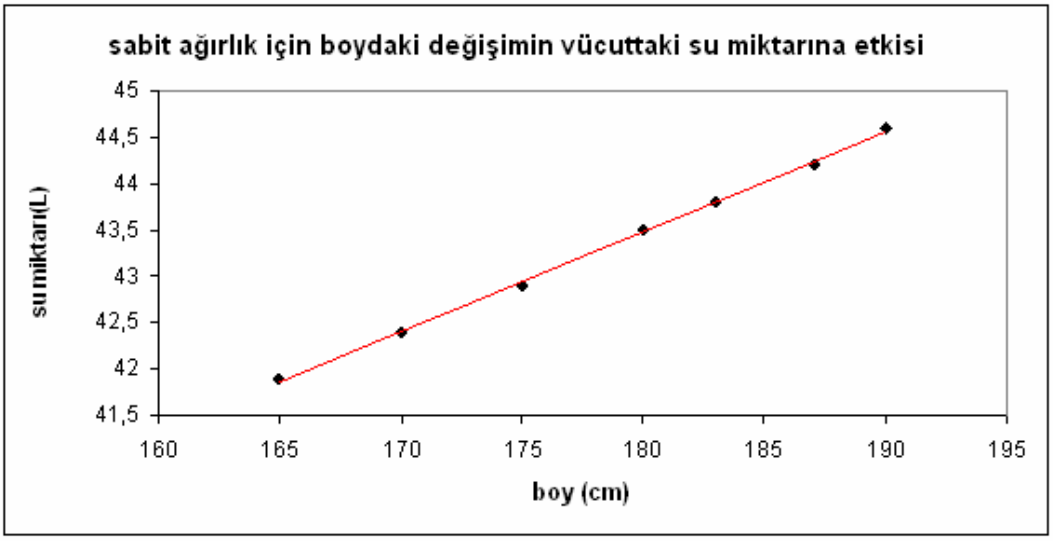
(Watson metodu ile hesaplanan toplam vücut suyu miktarı)

A = 19,19 B = 0,332 r =- 0,997



Şekil 4.5. Erkeklerde ağırlık (kg)'a karşı geçirgenlikteki değişim

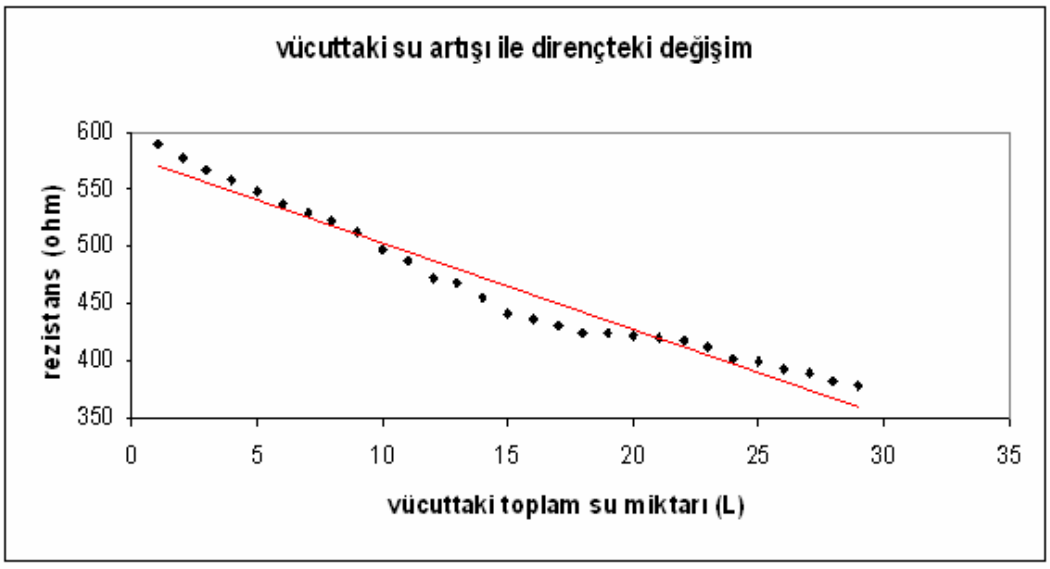
A = 0,432 B = 0,062 r =- 0,984



Şekil 4.6. Erkeklerde boy (cm)'un vücuttaki su miktarına etkisi

(Watson metodu ile hesaplanan toplam vücut suyu miktarı)

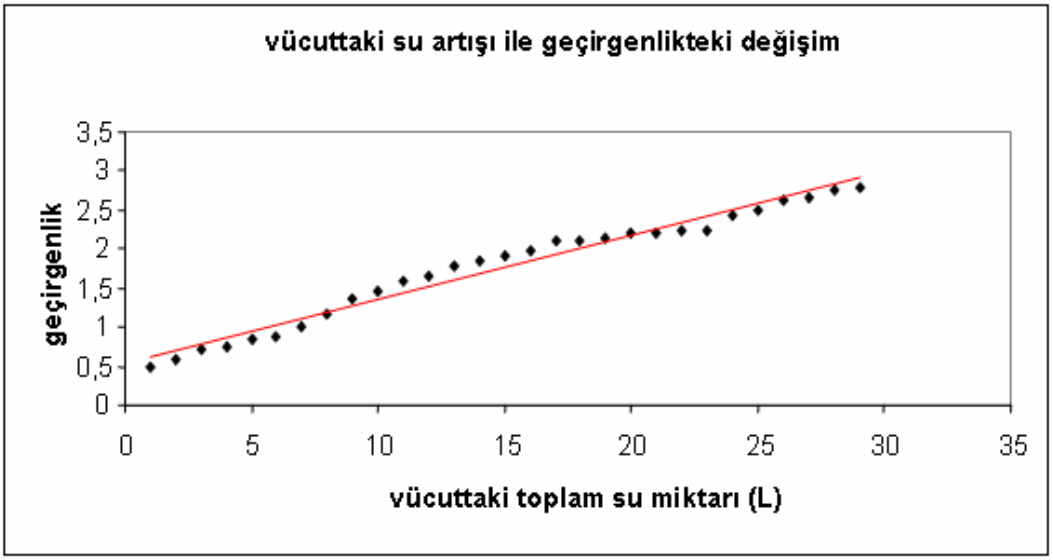
A = 24,18 B = 0,11 r =- 0,999



Şekil 4.7. Erkeklerde vücuttaki toplam su miktarı (L)'na karşı dirençteki değişim

(Bioelectrical impedance metodu ile hesaplanan vücuttaki toplam su miktarı)

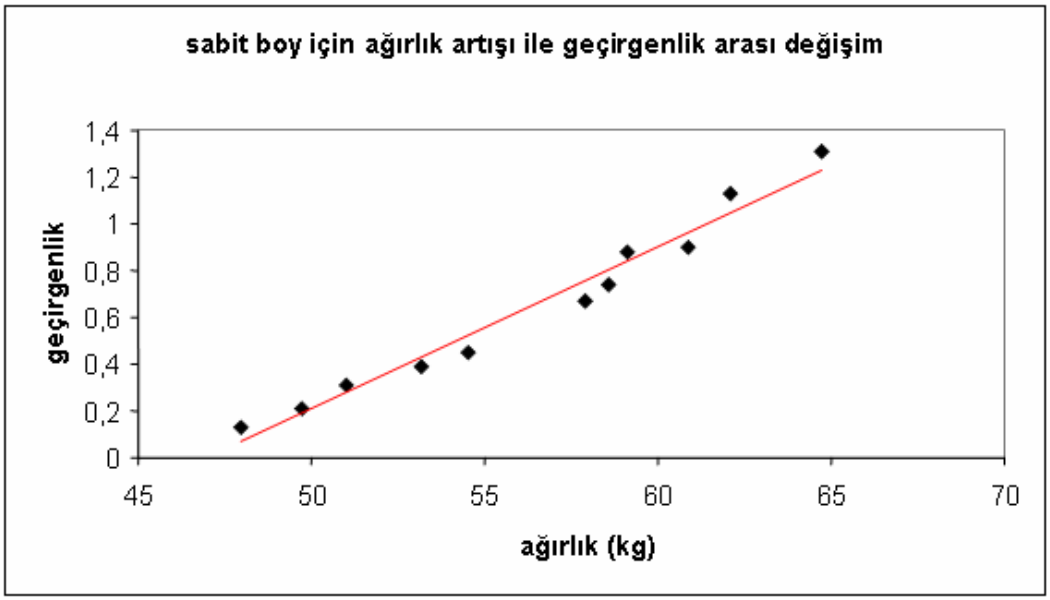
A = 2793,6 B = -53,6 r =- 0,997



Şekil 4.8. Erkeklerde vücuttaki toplam su miktarı (L)' na karşı geçirgenlikteki değişim

(Watson metodu ile hesaplanan vücuttaki toplam su miktarı)

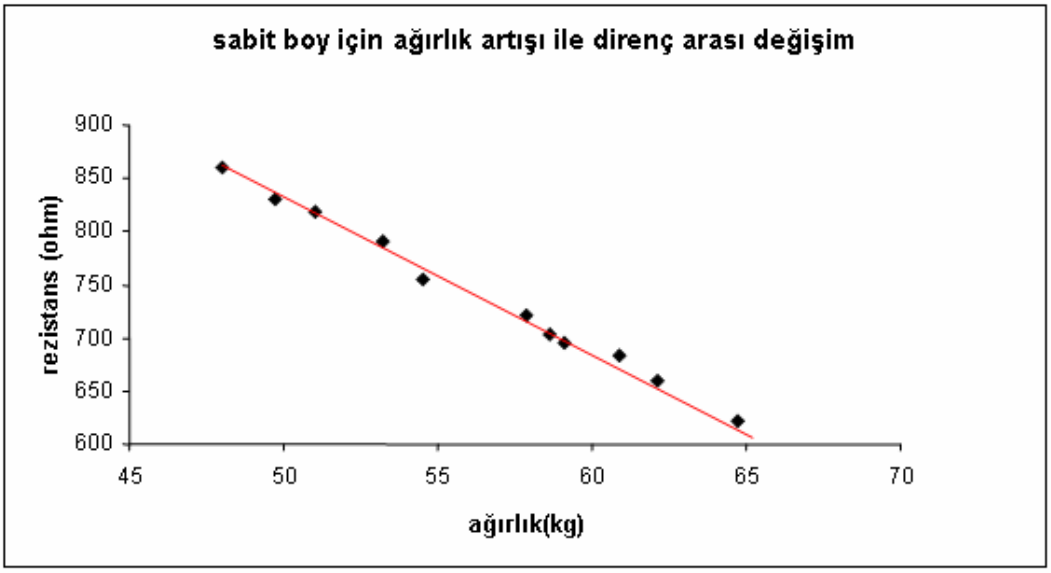
A = -23,58 B = 0,584 r = -0,995



Şekil 4.9. Bayanlarda ağırlık(kg)'a karşı geçirgenlikteki değişim

(Faz duyar kapasitansmetre ile bayanlarda alınan geçirgenlik değerleri)

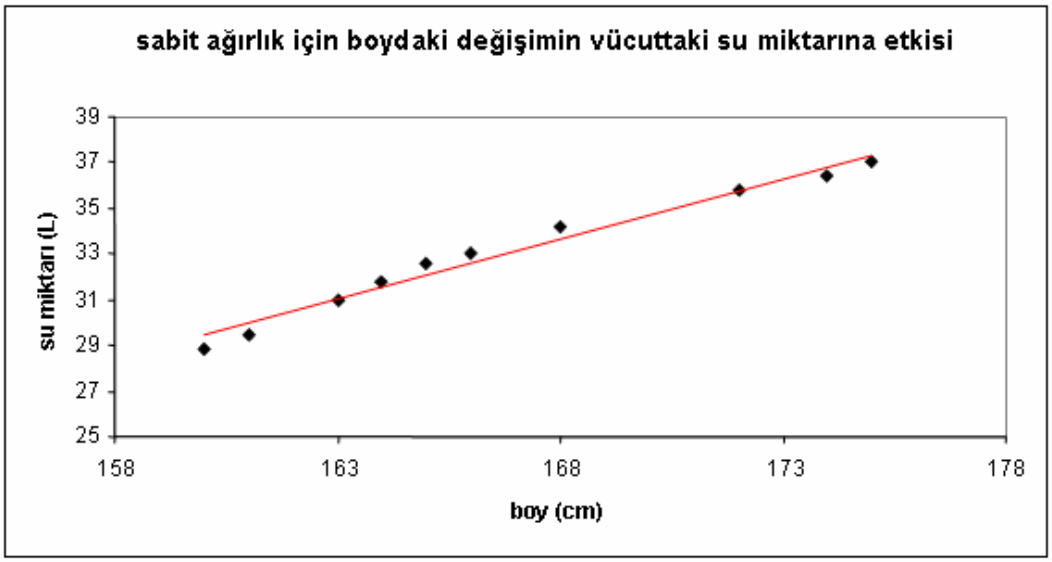
A = -3,58 B = 0,075 r =- 0,986



Şekil 4.10. Bayanlarda ağırlık(kg)'a karşı dirençteki değişim

(BIA cihazı ile bayanlarda alınan rezistans değerleri)

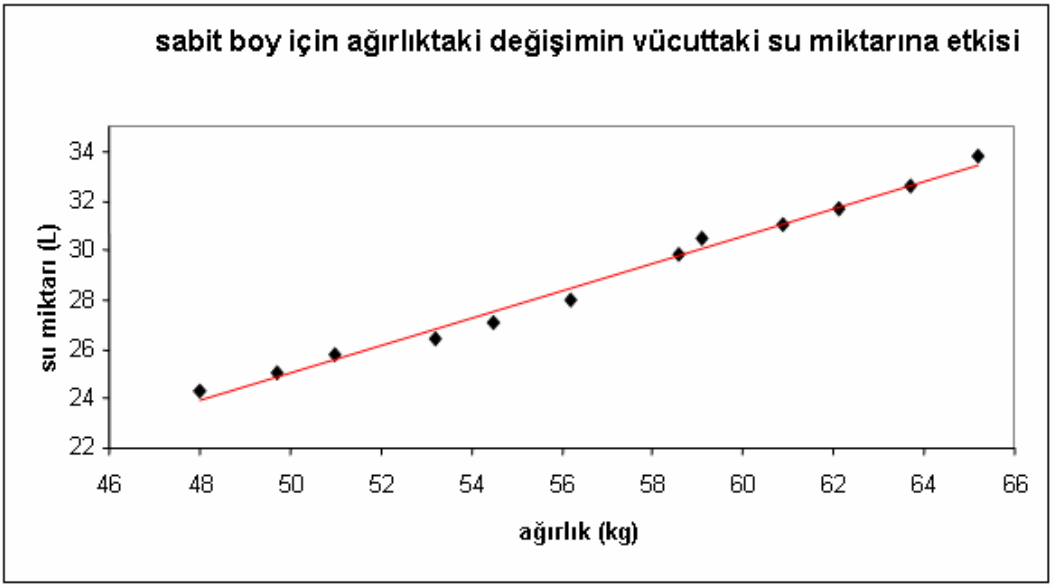
A = 1535,6 B = -14,13 r =- 0,997



Şekil 4.11. Bayanlarda boy (cm)'un vücuttaki toplam su miktarına etkisi

(Watson metodu ile hesaplanan toplam vücut suyu miktarı)

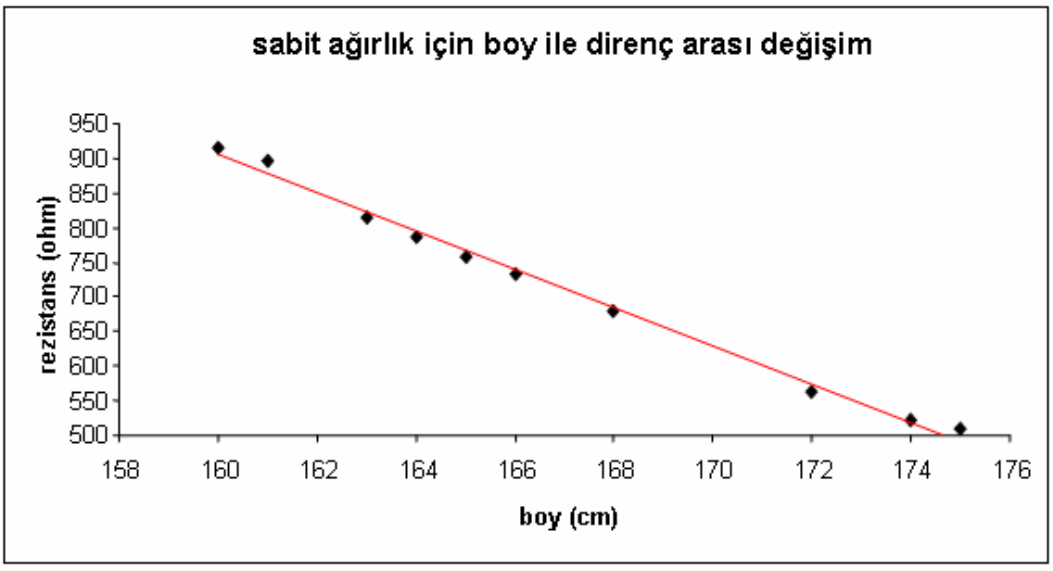
A = -56,74 B = 0,536 r = -0,976



Şekil 4.12. Bayanlarda ağırlık (kg)'ın vücuttaki toplam su miktarına etkisi

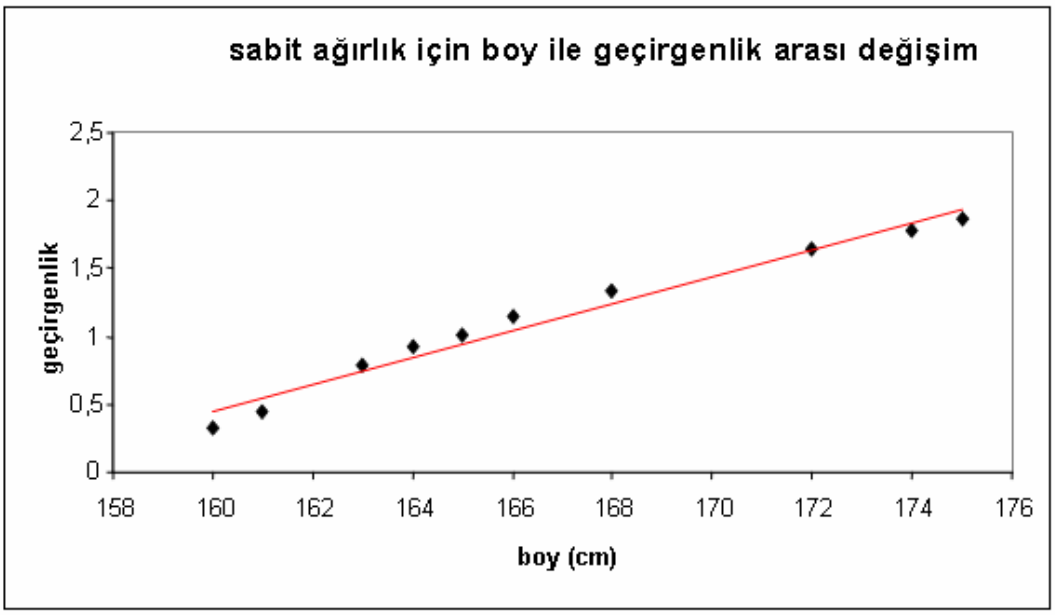
(Watson metodu ile hesaplanan toplam vücut suyu miktarı)

A = -2,74 B = 0,555 r = -0,995



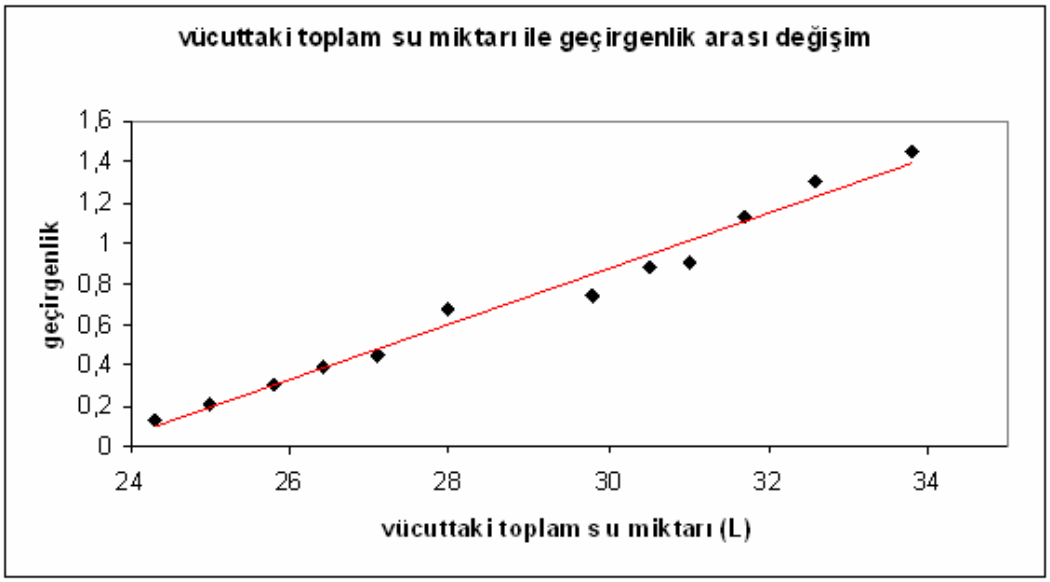
Şekil 4.13. Bayanlarda boy(cm)'ye karşı dirençteki değişim

A = 5467,5 B = -28,49 r =- 0,997



Şekil 4.14. Bayanlarda boy(cm)'ye karşı geçirgenlikteki değişim

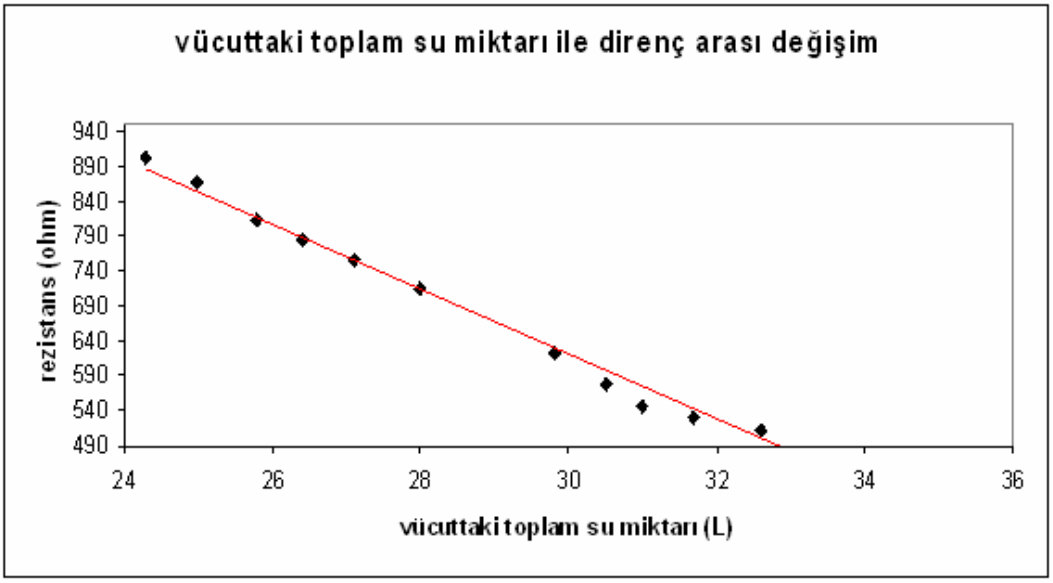
A = -15,39 B = 0,1 r =- 0,986



Şekil 4.15. Bayanlarda vücuttaki su miktarı (L)' na karşı geçirgenlikteki değişim

(Watson metodu ile hesaplanan toplam vücut suyu miktarı)

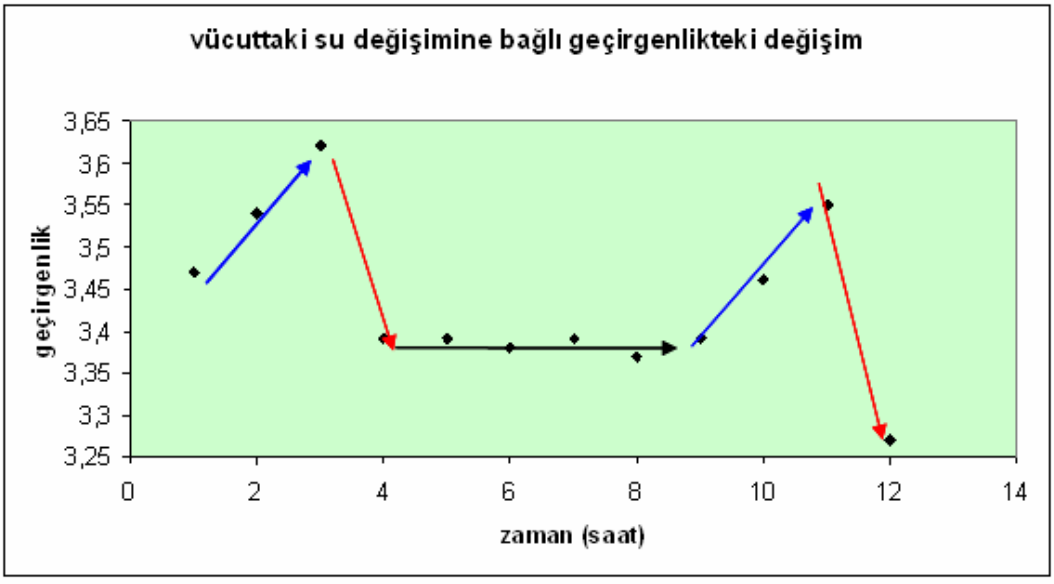
A = -3,38 B = 0,143 r =- 0,984



Şekil 4.16. Bayanlarda vücuttaki su miktarı (L)' na karşı dirençteki değişim

(Bioelectrical impedance metodu ile hesaplanan toplam vücut suyu miktarları)

A = 2070,1 B = -48,78 r =- 0,994



Şekil 4.17. Zamana karşı aynı kişi üzerinde geçirgenlik değerlerinin monitörlenmesi

(Faz duyar kapasitansmetre ile alınan geçirgenlik değerleri)

Mavi oklar = sıvı alımı Kırmızı oklar = sıvı atımı Siyah ok = normal hal

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tüm çalışma boyunca Lock-in Amplifier (LIA) ile oluşturulan bir faz duyar kapasitansmetrede iki ayrı düzenek denenmiş alınan ölçümler karşılaştırıldığında, ikinci oluşturulan düzeneğin dışarıdan ölçümleri etkileyebilecek gürültü sinyallerini minimuma indirdiği, daha net değerler monitörlendiği gözlenmiştir. Ve çalışmaya ikinci oluşturulan düzenek ile devam edilmiştir.

Cihazın teknik olarak düzenlemeleri Bölüm 3'de çeşitli açılardan incelenmiştir. Bölüm 4.1.1'de cihaz kabini boş iken etraftan oluşabilecek hataları tespit etmek için seri ölçümler alınmış ve % BSS değeri 1,3 civarında olduğu hesaplanmış, boşluğun ve etrafın elektriksel geçirgenlik değerine fazlaca etkimediği yani tolere edildiği görülmüştür.

Ayrıca hazırlanan düzenekte kişinin kabin içerisine girip çıkmasındaki oluşabilecek hataları tespit edebilmek için Bölüm 4.1.2'de tekrarlanabilir ölçümler alınmış ve BSS değeri 0,63 % civarında gözlenmiştir. Bu sonuçla da cihazdan dolayı dikkate değer bir elektronik kayma gözlenmeyeceği anlaşılmıştır.

Toplam vücut suyu tayini için yapılan bu çalışmada sistem bir kapasitansmetre ortamıdır. Ölçüleri belirtilen paralel iki levhadan birisi aktarıcı, diğeri alıcı olarak hazırlanan düzenekte, sisteme alternatif akım uygulanmaktadır. Bu sistemde ölçüm için dielektrik malzeme olarak çeşitli boy ve kiloda kişilerle çalışılmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.5'de, Faz Duyar Kapasitansmetre ile erkek öğrencilerde ve askerlerde alınan geçirgenlik değerlerinin boya ve kiloya karşı nasıl değiştiği gösterilmiş olup r değerleri 0,99 civarında hesaplanmıştır. Bayanlarda ise boy ve kiloya karşı geçirgenlik değerinin

nasıl değiştiği Şekil 4.9 ve Şekil 4.14'de görülmektedir. Kişilerin vücutlarındaki su miktarına orantılı olarak dielektrik geçirgenliği artmakta, direnci azalmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda vücuttaki toplam su miktarının cinsiyet, yaş, boy ve kilo gibi parametrelerden etkilendiği belirtilmektedir. En genel parametre cinsiyettir. Erkeklerde vücut ağırlığının % 60'ı su iken, kadınlarda vücut ağırlığının % 50'si sudur.

Toplam vücut suyuna etki eden diğer parametre ise yaştır. Yalnız bizim yapmış olduğumuz çalışma belli yaş kesimini kapsadığı için, yaşın vücuttaki toplam su miktarına nasıl etkidiği çok fazla irdelenmemiştir.

Kilo ve boy parametrelerini ele aldığımızda ise, yaptığımız ölçümler ile elde ettiğimiz sonuçlarda, aynı boydaki kişilerde her 10 kg'da % 7,8 oranında vücutlarındaki su miktarında değişme gözlenirken, aynı kilodaki kişilerde her 10 cm'de % 2,5 oranında değişim gözlenmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de Biyoempedans Cihazı ile alınan rezistans değerlerinin, erkeklerde boy ve kiloya karşı nasıl değiştiği grafiklenmiştir. 0,98 civarında r değerleri hesaplanmış olup artan boy ve kiloya karşı rezistans değerlerinin lineer olarak azaldığı gözlenmiştir. Aynı şekilde bayanlarda alınan rezistans değerleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de grafiğe geçirilmiş 0,999'luk korelasyon elde edilmiştir.

Bölüm 4' de yapılan çalışmalar grafiklerle belirtilmiştir. Şekil 4.4 ve 4.6'da artan boy ve kiloya karşı toplam vücuttaki su miktarının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Çalışmanın dönüm noktası ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de erkeklerde, vücuttaki toplam su miktarının, geçirgenlik ve rezistans değerlerine göre nasıl değiştiğinin gösterilmesidir. Bu grafiklerde verilen toplam vücut suyu miktarları Watson ve Bioelectrical Impedance metotlarına ile hesaplanmıştır. Bayanlardaki değişim ise Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Tüm bu tablolardan görüldüğü gibi artan geçirgenlik değeri ve azalan rezistans değeri ile vücuttaki toplam su miktarında artış olduğu görülmüştür. Tüm grafiklerden 0,99 gibi bir korelasyon elde edilmiştir.

Bölüm 4.1.4'de aynı kişi üzerinde, zamana karşı, faz duyar kapasitansmetre ile geçirgenlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 4.17'de görüldüğü gibi bir kişi belirlenmiş ve belli saat aralığında bu kişinin günlük sıvı alımı ve boşaltımı esnasında geçirgenlik değerlerindeki değişim izlenmiştir. Alınan seri ölçümler sonucunda BSS % 2,8 değerinde hesaplanmıştır. Her sıvı alımında vücudundaki toplam su miktarı artmakta ve buna bağlı olarak geçirgenlik değerleri artmaktadır. Kişinin sıvı atımından sonra alınan

ölçümlerde ise geçirgenlik değerinde ani azalma gözlenmektedir. Normal gün ortasında herhangi bir sıvı alımı ve atımı olmadığı zamanda alınan geçirgenlik değerlerinde dikkate değer farklılıklar gözlenmemiştir.

Toplam vücut suyu tayini, özellikle diyaliz makinesine bağlanan hastalar ile kolera, ishal gibi vücut suyu kaybı ya da birikmesinin (ödem) söz konusu olduğu hastalıklarda önemlidir. Diğer hastalıkların tanısı ve tedavisi için de toplam vücut suyundaki değişimin izlenmesi gerekmektedir. Daha önce yapılan toplam vücut suyu tayinleri, radyoaktif yolla yapılmakta iken, literatürde 'Bio Empedans Pletismograf' adlı 2 ya da 4 elektrotlu sistemlerle tayin yapılabildiği görülmektedir [35,36].

Yaptığımız çalışmada Biyoelektrik İmpedans Analiz yöntemi ile yapılan ölçümler referans alınmıştır. Bu çalışmada da değişik elektrotlar denenmiş ve her elektrotun ölçülen sonuçları nasıl etkilediği incelenmiştir. Bölüm 4.1.3'de kullanılan elektrotlar sıralanmıştır. Aynı kişi üzerinde her üç çeşit elektrotla paralel ölçümler alınmıştır. İlk olarak EKG Cihaz elektrotu ile yapılan ölçümlerde % BSS değeri 2,64 olarak elde edilmiş iken, Jel tipi elektrotla alınan ölçümlerde % BSS değeri 3,89 olarak hesaplanmıştır. Cihazın kendi elektrotu ile alınan seri ölçümler sonucunda ise % BSS değeri 0,96 ve 1,36 olarak hesaplanmıştır. Buradan görüldüğü gibi elektrotlardaki değişim, sonuçları yüksek oranda etkilemektedir. Çünkü yaptığımız çalışmada, cihazın kendi elektrotu ya da diğer elektrotlar olsun, tek seferlik ölçümler için uygundur. Ölçüm sayısı arttıkça elektrotların yapışkanlarında azalma ve jel kısımlarında kuruma gözlenmekte ve bu da vücut ile temassızlık oluşturmaktadır. Tam bir temas olmadığı takdirde de alınan rezistans değerlerinde sapma gözlenmektedir. Ayrıca BIA' nın kendi elektrotu ile aynı kişi üzerinde yatarken ve otururken N= 10 paralel ölçümler alınmış ve elde edilen sonuçlarda kişi yatarken % BSS= 0,96 hesaplanırken, kişi otururken % BSS 1,36 olarak hesaplanmıştır. BIA yöntemi ile 0-12 yaş çocuklarda vücutlarındaki ölçülen elektriksel ve biyolojik parametreler net sonuçlar vermemektedir. Çünkü çocuklarda yapılan ölçümlerde, çocukların korkması ve ölçüm esnasında heyecanlanması, hareket etmesi ile alınan değerlerde hatalar gözlenmekte ve net sonuçlar hesaplanamamaktadır. BIA metodu noninvazif, ucuz olması, kullanımının kolaylığı ve hastaya radyasyon vermemesi gibi durumlar nedeni ile sık tercih edilen vücut kompozisyon değerlendirme yöntemi olsa da, klinik amaçlı olarak vücut kompozisyon ölçümündeki etkinliğini çeşitli çalışmalarda tam olarak gösterememiştir. Örneğin genç ve sağlıklı bireylerde intravenöz

furosemid uygulanmasına bağlı gelişen akut dehidratasyon sonucunda yapılan BIA ile vücut kompozisyon değerlendirmesinin hatalı sonuç verdiği gösterilmiştir. BIA klinik alanda hasta takibinde sık olarak kullanılsa bile, obez, kardiyak problemli veya hemodiyalizli hastalar için önemli kararlar verebilme durumunda, teknik yağ oranından etkilendiği ve toplam vücut suyu miktarını eksik veya fazla ölçtüğü göz önüne alınmalıdır. Vücudun diğer yöntemlerle radyasyon almaması için BIA metodunun hastalara tek ölçüm yerine sık olarak uygulanması tercih edilmekte ve ödemli olan durumlarda elde edilecek olan hatalı sonuçların azaltılmasına bu şekilde çalışılmaktadır. Her ne kadar şu an uygulanmakta olsa da, çocuklarda alınan ölçümler doğru sonuçlar vermemekte ve tam olarak toplam vücut suları ölçülememekte ve böylece yaklaşık değerler dikkate alınmaktadır.

Bizim yapmış olduğumuz cihaz ile her yaş kesimindeki, farklı boy ve kiloya sahip kişilerde rahatlıkla ölçümler alınabileceği gözlenmiştir. Tek dikkat edilmesi gereken nokta, toplam vücut suyu ölçülecek kişi, ölçüm kabinine girmeden önce üzerindeki tüm metal eşyaları çıkarmalı ve kabin içerisinde belirtilen noktada sabit durmalıdır. Ölçüm için kişinin, kabin içerisinde en fazla 5 saniye durması yeterlidir. Kabin içerisinde homojen bir ortam oluşturulduğu için, gönderilen a.c akım her noktaya eşit şekilde dağılmakta ve kişi üzerinde net bir geçirgenlik değeri okunmaktadır. Geçirgenlik değerindeki artışa paralel olarak ise vücuttaki toplam su miktarındaki artış tespit edilebilmektedir. BIA yönteminde elektrotların ölçüm alınacak kişilerde kolun ön kısmı ve ayak bileklerinin ön kısmına yapıştırılmasındaki neden, buralarda rezistans değerlerinin daha yüksek olmasıdır. Elektrotlar arasında gönderilen akımın geçtiği yol, vücut cüssesi, elektrolitler ve sıvı dağılımındaki farklılıklardan etkilendiği için değişmektedir. Böylece de ascit, periferal ödem, travma, yanık sepsis ve diyaliz sırasında, vücut sıvı dağılımının değiştiği durumlarda, BIA analizi geçerli görülmemektedir.

Sonuç olarak geliştirdiğimiz Lock-in amplifier'li faz duyar kapasitansmetre ile alınan ölçümler, vücuttaki toplam su miktarını geçirgenliğe bağlı olarak belirleyecek durumdadır. Bu çalışmada kullanılan düzeneğin diğer çalışmalarda portatif hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için PLL (LM566, Phase Locked-Loop) faz kilitli halka kullanılması hedeflenmektedir. Şu an aynı düzenek ile toz şekerde nem tayini için çalışmalar sürmektedir. Ayrıca bu düzeneğin kuru mahsül ve bakliyatta nem tayininde,

saf alkolde metanol tayininde, sayısız ürün ve petrol rafineri çıktılarının hem kalite kontrolünde hem de gerçek zaman (real time) proses kontrolünde yaygın olarak kullanılması söz konusudur. Önümüzdeki dönem içerisinde bu düzenek ile eser elementlerin zenginleştirilmesinde kullanılan mini kolonlar ile çalışmalarda, zenginleştirme ve eluasyon basamaklarının gerçek zamanda izlenmesi, iyon tutma ve bırakma kinetiği ve kapasiteleri üzerine de muhtemelen ilk öncü çalışmalar yapılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Sarıkaya, Y., Fizikokimya, 186, Gazi Büro Kitabevi, Ankara , 1997.
2. Smith, C.P., Dielectric Behavior and Structure, Mc Graw-Hill, New York, 1955.
3. Castellan, C.W., Physical Chemistry, Second Ed., Addison-Wesley Pub. Co., 1972.
4. Şenvar, C., Alpaut, O., Maddenin Üç Hali, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 204, 1980.
5. Karaca, H., Bazı Petrol Türevleri İle Organik Bileşiklerde Dipol Moment Ölçümüne Dayalı Yöntem Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2000.
6. http://www.silisyum.net/htm/pasifdevreelemanlari/kondansatörler.htm
7. http://sutef.selçuk.edu.tr/~otomasyon/images/stories/Analog/temelelektronik/te-02.pdf
8. http://eem.dumlupinar.edu.tr/Site/kondansator.htm
9. Köroğlu, H., Elektrik ve Manyetizma, 64-84, 1978.
10. Çetin, T., Analitik Kimyada Dielektrik Geçirgenlik Metudu İle Yeni Bir Yaklaşım Ve Endüstriyel Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2004.
11. Halverstadt, I.I., Kumler, W.D., Solvent Polarization Error and Its Elimination In Calculating Dipole Moments, J. American Chem. Soc., 64, 2988-992, 1942.
12. Özçelik, O., Doğukan, A., Kaya, H., Hemodiyaliz Hastalarında Biyoelektrik Empedans Analiz Yönteminin Vücut Kompozisyonunun Belirlenmesindeki Etkinliği, Fırat Tıp Dergisi, 10(2), 50-53, 2005.
13. Smith, D., Engel, B., Simon, J.D., Spanel, P., Comporative Measurements of Total Body Water in Healthy Volunteers By On-line Breath Deuterium Measurement and Other Near-Subject Methods, Am J Clin Nutr, 76, 1295-301, 2002.

14. Liedtke, J.R.,Fundamentals of Bioelectrical Impedance Analysis, RJL Systems, Inc., http://www.rjlsystems.com/docs/bia_info/fundamentals/html, February 1, 1998.

15. Kotler, D.P., Burastero, S., Wang, J., Pierson, RN., Prediction of Body Cell Mass, Fat-free Mass, and Total Body Water with Bioelectrical Impedance Analysis: effects of race, sex, and disease, Am J Clin Nutr, 64, 489-97, 1996.

16. Liedtke, J.R., Principles of Bioelectrical Impedance Analysis, RJL Systems, Inc., http://www.rjlsystems.com/docs/bia_info/principles/html, Apr 1, 1997.

17. So Why Do I Need a BIA?, RJL Systems, Inc., http://www.rjlsystems.com/docs/bia_info/why_bia/why_bia.pdf, Nutrition Facts. Serv., Size 1, ANSA, 1997.

18. Shypailo, J.R., Bioelectrical Impedance Schematic, Body Composition Laboratory, Texas, http://www.bcm.edu/bodycomplab/biaschemapage.htm, 2006.

19. How Electrodes are Placed on The Hand and Foot, BIA Testing Procedure, RJL Systems,Inc., http://www.rjlsystems.com/product_docs/general/electrodes.shtml, 2005.

20. Testing Your BIA System, RJL Systems, Inc., http://www.rjlsystems.com/products/product_docs/general/testing_bia.shtml, 2005.

21. Cadas, D., Akbaba, G., Yeni Ufuklara, Su ve Sağlığımız, Bilim ve Teknik, Ek, 1-31, Kasım, 2005.

22. Akman, H., Atıcı, Ş., Vücut Sıvısı ve Sodyum Dengesi, Çukurova Üniversitesi, http://lokman.cu.edu.tr/anestezi/reanimasyonnot/sivi.htm, 1999.

23. Gülen, Ş., Vücut Sıvı Bileşimi, Başkent Üniversitesi Bilimsel Araştırma Topluluğu Tıp Bayramı Etkinlikleri, Mart 17, 2006.

24. Şahbaz, F., Su ve Buz, Gıda Kimyası, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 9-36, 1998.

25. Tayfur, M., Suyun İnsan Sağlığı ve Yaşamı İçin Önemi, http://www.turkuaz.com/html/guncel/makaleler_nisan.html, Nisan, 2003.

26. Desport, J.C., Preux, P.M., Daviet, J.C., Total Body Water and Percentage Fat Mass Measurements Using Bioelectrical Impedance Analysis and Anthropometry in Spinal Cord-Injured Patients, Clinical Nutrition, 19(3), 185-90, 2000.

27. Davies, S., Spanel, P., Smith, D., Total Body Water Measurements, Physial, 22, 651-59, May, 2001.

28. Desport, J.C., Ritz, P., Pillegand, B., Validation of Total Body Water Measurement by Bioelectrical Impedance Analysis In Para and Tetraplegic Patients, Spungen Am et al, Arch Phys Med Rehabil, 74, 965-68, 1993.

29. Johansson, A.C., Samuelsson, O., Atman, P.O., Limitations in Anthropometric Calculations of Total Body Water in Patients on Peritoneal Dialysis, J Am Soc Nephrol, 12, 568-73, 2001.

30. Puiman, P.J.,Francis, P., Buntain, H., Total Body Water in Children with Cystic Fibrosis Using Bioelectrical Impedance, Journal of Cystic Fibrosis, 3, 243-47, 2004.

31. Donadio, C., Consoni, C., Ardini, M., Estimate of Body Water Compartments and of Body Composition of Single and Multifrequency Bioimpedance Analysis, Journal of Renal Nutrition, Vol 15, No 3, 332-44, July, 2005.

32. LaForgia, J., Withers, R.T., Measurement of Total Body Water Using ^{2}H Dilution : Impact of Different Calculations for Determining Body Fat, British Journal of Nutrition, 88, 325-29, 2002.

33. Fijter, W.M., Donker, A.J.M., Assessment of Total Body Water and Lean Body Mass from Anthropometry, Watson Formula, Creatinine Kinetics, and Body Electrical Impedance Compared with Antipyrine Kinetics in Peritoneal Dialysis Patients, Nelphrol Dial Transplant, 12:151-56, 1997.

34. Sifil, A., Çavdar, C., Çelik, A., The Comporision of Dual-Energy X-Ray Absorbtiometry and Bioelectric Impedance analysis in Determination of Body Composition in Hemodialysis Patients, Am J Clin Nutr, 64:244-48, 1997.

35. Gündüz, Z., Ülgen, A., Gökmen, A., Poyrazoğlu, H., Düşünsel, R., Hemodiyaliz Hastalarında Diyaliz Sırasında Vücut Su Kaybının 2-elektrotlu Faz-duyar

Empedans Pletismograf ileİizlenmesi, Biyomut 99 Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, 27,28,29 Ekim, Kayseri, 1999.

36. Segal, K.R., Burastero, S., Chun, A., Coronel, P., Pierson, R.N., Wang, J., Estimation of Extracellular and Total Body Water by Multiple-frequency Bioelectrical Impedance Measurement, Am. J. Clin. Nutr., 54:26-9, 1991.
37. http://www.medcalc.com/tbw.html
38. Chumlea, W.C., Guo, S.S., Flegal, K.M., Body Composition Estimates from NHANES III Bioelectrical Impedance Data, International Journal of Obesity, 26, 1596-09, 2002.
39. http://www.thehealthnews.org/tr/news/0755/su.html

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İzmir'de doğdu. 1993'de Tüpraş İlkokulu'ndan, 2000'de Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalın'da yüksek lisans öğrenimine başladı. Şu an bu bölümde öğrencidir.

İletişim Bilgisi

e-mail: aslikaraduman@gmail.com