

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Radyoterapi Dozimetrisinde
Anlık Verilerin
Sayısal ve Kablosuz Yolla Taşınması**

FUNDA DURMUŞ

**MEDİKAL FİZİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İZMİR - 2009

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Radyoterapi Dozimetrisinde
Anlık Verilerin
Sayısal ve Kablosuz Yolla Taşınması**

FUNDA DURMUŞ

Danışman Öğretim Üyeleri:
Prof. Dr. MÜNİR KINAY
Öğr. Gör. ZAFER KARAGÜLER

**MEDİKAL FİZİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İÇİNDEKİLER

1	Özet:.....	1
2	Abstract:	2
3	Giriş ve Amaç:.....	3
4	Genel Bilgiler:.....	4
4.1	Klasik Sistem Dozimetri:	4
4.1.1	İyon Odası (Farmer Tipi).....	5
4.1.2	Elektrometre:.....	7
4.1.2.1	İşlemsel Yükselteç (OPAMP)	8
4.1.3	Triaksiyel Uzatma Kablosu:	8
4.2	Lineer Hızlandırıcı:	9
4.3	RS232 Seri İletişim Protokolü:	12
4.3.1	RS232 Standardının Özellikleri:	12
4.3.2	RS232 Veri Trafiği:.....	13
4.3.3	RS232'nin Fiziksel Özellikleri:.....	14
4.4	TCP / IP Ethernet Protokolü ve Bileşenleri:.....	14
5	Gereç ve Yöntemler:	16
5.1	Stronsiyum-90 Test Kaynağı:.....	16
5.2	Termometre ve Barometre:	18
5.3	Kullanılan Elektrometre ve İyon Odası:	20
5.3.1	Elektrometre:.....	20
5.3.2	İyon Odası:	21
5.4	Geliştirilen Sistemin Yapısı:	21
5.4.1	İletim / Aktarma Sistemi:	22
5.4.2	Çevirici Kutu:.....	23
5.4.3	Tibbo Sunucu (Server) Modül:	24
5.4.4	Sürücü Devre:	28
5.4.5	Kablosuz Erişim Noktası ve RF Sinyal Kuvvetlendirici:	30
5.4.6	Yazılım:	32
5.4.6.1	VSPD - Sanal Seri Port Programı:.....	32

5.4.6.2	DSM - Sunucu Alet Yönetim Programı:	35
5.4.6.3	DOSICOM – Elektrometre Ölçüm / Kontrol Programı:.....	39
5.5	Karşılaştırılacak Durumların Belirlenmesi ve Ölçümler:	43
5.5.1	Triaksiyel Kabloya Gelen Etkiler:	43
5.5.1.1	Johnson Gürültüsü:	43
5.5.1.2	Gürültü Akımı:	43
5.5.1.3	Termoelektrik Elektro Manyetik Kuvvet Etkisi:.....	43
5.5.1.4	Elektrostatik Dipol Etkisi:	44
5.5.1.5	Piezoelektrik Etkiler:	44
5.5.1.6	Tribboelektrik Etkiler:.....	44
5.5.2	Ölçümler:	44
5.5.2.1	Stronsiyum-90 Test Kaynağıyla Yapılan Ölçümler:	44
5.5.2.2	Lineer Hızlandırıcıyla Yapılan Ölçümler:	48
6	Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Bulgular:	51
7	Sonuç ve Öneriler:	52
8	Kaynaklar:	54

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1- Klasik Elektrometre Düzeneği	5
Şekil 2- Farmer Grafit / Aluminyum İyon Odası ⁽¹⁾	6
Şekil 3- İyon Odalı Dozimetre Sistemi ⁽¹⁾	6
Şekil 4- Geri Besleme Modunda Çalışan Elektrometre Şeması ⁽²⁾	7
Şekil 5- Çeşitli Triaksiyel Kablolar ⁽⁴⁾	8
Şekil 6- Lineer Hızlandırıcılarda Kullanılan Tipik Elektron Tabancası Şeması	9
Şekil 7- Modülatörün Ürettiği RF Güç Dalgası (Mikrowave) ⁽⁵⁾	10
Şekil 8- Hızlandırıcı Dalga Kılavuzu Kesiti, Kaviteler. ⁽⁵⁾	11
Şekil 9- Kavitelerde RF Enerjinin Oluşturduğu Elektromanyetik Kuvvetler. ⁽⁵⁾	11
Şekil 10- Lineer Hızlandırıcının Yapısı	12
Şekil 11- Stronsiyum-90 Test Kaynağı	17
Şekil 12- İyon Odası Adaptörü ve İyon Odası	17
Şekil 13- İyon Odasının Adaptöre Yerleştirilmesi	18
Şekil 14- İyon Odasının Adaptörle Test Kaynağına Yerleştirilmesi	18
Şekil 15- Stronsiyum-90 Test Kaynağı İçinde Termometre ile Isı Ölçümü	19
Şekil 16- Barometre ile Hava Basıncı Ölçümü	19
Şekil 17- PTW UNIDOS E Referas Serisi Elektrometre ⁽⁴⁾	20
Şekil 18- PTW 30006 Farmer Tipi İyon Odası ⁽⁴⁾	21
Şekil 19- Sistemin Genel Yapısı ve Dozimetre Düzeneği	22
Şekil 20- Dozimetri Sistemi Genel Görüm.	23
Şekil 21- Çevirici Kutu İç Yapısı	23
Şekil 22- Tibbo Sunucu Modül ⁽¹³⁾	24
Şekil 23- Tibbo Modül Pin Bağlantıları (Alttan) ⁽¹³⁾	25
Şekil 24- Besleme Voltajı ve RESET Sinyali Grafiği	26
Şekil 25- Baskılı Devre Şeması	27
Şekil 26- Plaketin Hazırlanmış Hali	27
Şekil 27- Tibbo Modülün Plaket Üzerine Monte Edilmiş Hali	27
Şekil 28- Sürücü Devre Elektronik Devre Şeması	28
Şekil 29- 232 Entegresinin İç Yapısı	29
Şekil 30- Tibbo Sürücü Devresi Baskılı Devre Şeması	30

Şekil 31- Tibbo Sürücü Devresi Elektronik Kart Fotoğrafı.....	30
Şekil 32- Huygens İlkesine Göre RF Dalgaların Tekrar Yayılımı	31
Şekil 33- Sanal Seri Port Programı, Protokol ve Adres Ayarları	33
Şekil 34- DTR ve RTS Kontrol Uçlarının Görevlendirilme Ayarları.....	34
Şekil 35- Window Uygulaması ile Sanal Seri Port Arasındaki İletişim Ayarları	35
Şekil 36- Sunucu Yönetici Programda Ağa Bağlı Sunucunun Seçilmesi.....	36
Şekil 37- Sunucu Yönetici Programla Sunucunun Yapılandırılması.....	37
Şekil 38- Sunucunun Çalışma Modunun Belirlenmesi.....	38
Şekil 39- Sunucuya Bağlı Fiziksel Seri Portun Ayarlarının Yapılması.....	39
Şekil 40- Elektrometre Ölçüm Programı Bağlantı Ekranı	40
Şekil 41- Elektrometre Ölçüm Programı Ayar Ekranı.....	41
Şekil 42- Elektrometre Ölçüm Programı Ölçüm ve Sonuç Ekranı	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 1- TCP/IP Referans modeli ve Katmanları	15
Tablo 2- Elektrometre ile Ölçüm Programı Arasındaki İletişim Trafiği Örneği	43
Tablo 3- Stronsiyum-90 Test Kaynağıyla Yapılan Ölçüm ve Ortam Bilgileri.....	45
Tablo 4- Düzenek 1 İçin Ölçüm Sonuçları	45
Tablo 5- Karşılaştırılan Sistem 1 İçin Ölçüm Sonuçları	46
Tablo 6- Karşılaştırılan Sistem 2 İçin Ölçüm Sonuçları	46
Tablo 7- Karşılaştırılan Sistem 3 İçin Ölçüm Sonuçları	47
Tablo 8- Karşılaştırılan Sistem 4 İçin Ölçüm Sonuçları	47
Tablo 9- Düzenek 2 için Ölçüm Sonuçları	48
Tablo 10- Lineer Hızlandırıcı ile Yapılan Ölçüm ve Ortam Bilgileri.....	49
Tablo 11- Düzenek 3 için Ölçüm Sonuçları	49
Tablo 12- Düzenek 4 için Ölçüm Sonuçları	50
Tablo 13- Düzenek 5 için Ölçüm Sonuçları	51

KISALTMALAR

MU	Monitör Unit
cGy	Santi Gray (Soğrulan Doz Birimi)
mA	Mili(10^{-3}) Amper
A	Amper
mV	Mili(10^{-3}) Volt
V	Volt
W	Watt
mW	Mili(10^{-3}) Watt
DC	Doğru Akım
MV	Mega(10^6) Volt
MeV	Mega(10^6) Elektron Volt
pF	Piko(10^{-12}) Farad
GHz	Giga(10^9) Hertz
dB	Desibel
cm	Santimetre
m	Metre
TCP/IP	İletişim Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü
UART	Üniversal Asenkron Alıcı /Verici
CMOS	Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken
⁹⁰Sr	Stronsiyum – 90
DHCP	Dinamik Host Yapılandırma Protokolü
MAC	Ortam Erişim Yönetimi
RF	Radio Frekansı

1 ÖZET:

Bu çalışmada, radyoterapi dozimetri sistemlerinde triaksiyel kablodan kaynaklı ölçüm hatalarının azaltılması için dozimetri sisteminde elde edilen analog bilginin terapi odası dışına sayısal ve kablosuz yolla taşınmasını sağlayan bir sistem geliştirilmiştir.

Geliştirilen sistemle mevcut sistemde kullanılan triaksiyel kablonun, analog veriyi uzun mesafe taşıyarak sinyal kayıplarına yol açma, ortam şartlarından etkilenme (radyo frekansı ve elektromanyetik alan vb.), sık kalibrasyon gerektirme, kullanım şartları ve zamanla hasar görebilme, pahalı olma gibi dezavantajlarını ortadan kaldıran, kurulum kolaylığı getiren, sayısal veri taşıma özelliği sayesinde veri kayıplarını sıfıra indiren bir yöntem bulunması amaçlanmaktadır.

Yöntemin ilkesi, iyon odasını triaksiyel uzatma kablosu kullanmadan elektrometreye bağlamak, elektrometre çıkışında veriyi sayısal alıp oda dışına kayıpsız şekilde kablosuz olarak taşımak ve aynı sayısal hat ile elektrometreyi de kontrol etmektir.

Sayısal verinin taşınması için ethernet protokolü kullanılmıştır. Bu şekilde RS232 protokolünün ulaşamayacağı hız ve mesafelere güvenli şekilde ulaşmak mümkün olmuştur. Ayrıca ethernet protokolü kablosuz iletişim içinde çok uygun bir protokoldür. Bu sistemle oda dışındaki bilgisayar kablosuz ağ yardımıyla elektrometreye komut verebilir ve elektrometreden verileri alabilir. Çok büyük bir kurulum kolaylığı getirmesinin yanında bu sistemle veriler doğrudan bilgisayara kaydedilebilir ve yol boyunca dış etmenlerden dolayı sinyal kaybına uğramaz. Değişken ortam şartlarından hiç etkilenmediği için de kalibrasyon gerektirmemektedir. Triaksiyel kabloya oranla çok ucuz bir sistemdir. Veriler sayısal yolla iletildiği ve her paket kontrol edildiği için triaksiyel kabloda olduğu gibi zamanla yıpranması, hasar görmesi gibi nedenlerle hatalı veri iletimi mümkün değildir.

Anahtar Kelimeler: Radyoterapi, Dozimetri, Elektrometre, Kablosuz iletişim, Sayısal Veri, Triaksiyel Kablo, Sinyal Kaybı

2 ABSTRACT:

Our expectation with this study was that we would develop a wireless and digital system to send the data out side of the treatment room to reduce the measurement errors caused by triaxial cable in radiotherapy dosimetry. With the system we developed, our purpose is to avoid the disadvantages of the triaxial cable used in radiotherapy dosimetry such as signal losses due to long distance data carriage, being affected by environmental conditions, frequent calibration requirements, damages due to using conditions, high cost, and is to gain advantages of easy setup and nearly zero losses with the help of digital data transmission.

The working principle of the system is to connect ion chamber to electrometer without using extension cable by getting the data output digitally from electrometer and carry it wirelessly to outside of the room without any losses and control (send commands to) electrometer with same digital wireless line. TCP/IP/802.11 protocol is used to carry digital data. This ensures the data provision much faster to longer distances than RS232 protocol safely. The computer outside of the room can send commands to electrometer and get data from it with this system. Besides its extraordinary setup easiness, data is directly recorded on the computer and the data loss is avoided. As it is not affected from environmental conditions, calibration is not required at all. This system is cheaper than triaxial cable. There are checksum in each digital data packet sent and this feature makes it impossible to send a wrong data due to cable depreciation or damage.

Key Words: Radiotherapy, Dosimetry, Electrometer, Wireless Transmission, Digital Data, Triaxial Cable, Signal Loss

3 GİRİŞ VE AMAC:

Radyoterapide, tedavi cihazlarının ürettiği radyasyon dozunun ölçümesi ve belirlenen enerjiler için kalibrasyonunun yapılmasında, tedavi sırasında üretilen enerjinin kararlılığını kontrol amacıyla dozimetri yapılmaktadır.

Klasik bir dozimetri sistemi, iyon odası, elektrometre ve triaksiyel kablodan oluşur. Radyoterapi dozimetrisinde, dedektör olarak çoğunlukla, farmer tip iyon odası kullanılırken, ölçme cihazı olarak çok hassas, düşük akımlarda ölçüm yapabilen, elektriksel gürültüler, radyasyon ve elektrik alanlardan etkilenmeyen elektrometreler kullanılır. İyon odası, radyasyon alanı içinde elektrometre de oda dışında olur. Elektrometre ile iyon odası arasında veri akışı, triaksiyel uzatma kablosu sayesinde sağlanır. İyon odasında oluşan çok düşük şiddetteki akım, oda dışında bulunan elektrometre tarafından ölçülür.

Günümüzde kullanılan bu sistem avantajlarının yanında bazı dezavantajlar da getirmektedir. Özellikle çok küçük voltaj ve akım bilgilerinin 20-30 metre uzunluğunda triaksiyel kablo ile analog şekilde iletilmesinin getirdiği bazı olumsuzluklar bulunmaktadır. Bu olumsuzlukların bazılarını, kablonun darbelere açık olması, çok pahalı olması, sıcaklık farkları, elektrik alan ve manyetik alandan etkilenmesi olarak sayabiliriz.

Bu çalışmanın amacı, klasik sistemde triaksiyel kablo nedeniyle oluşabilecek hataların boyutlarını belirlemektir. Ayrıca bu kablonun yerine kullanılabilecek, veri kaybını ve ortam şartlarının etkisini en aza indirecek, kolay kurulum sağlayabilecek, sayısal bir hat üzerinden verileri aktarabilecek, ölçüm sonucu elde edilen verileri bilgisayar ortamında kayıt edebilecek bir sistem geliştirmektir.

4 GENEL BİLGİLER:

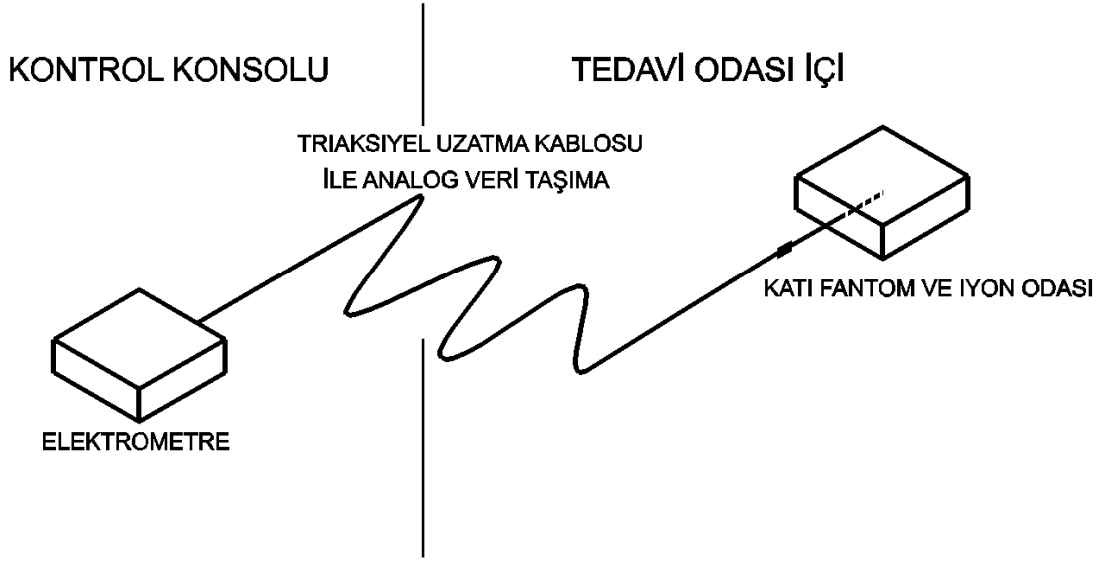
4.1 Klasik Sistem Dozimetri:

Radyasyon onkolojisinde, tedavi cihazlarının ürettiği radyoaktif ışınımın, enerjisinin ölçümü, kalibre edilmesi veya kararlılığının kontrol edilmesi için dozimetrik ölçüm yapılmaktadır.

Radyasyon dozimetri sistemleri, çalışmasının darbe (pulse) tipi olması veya olmamasına göre sınıflandırılabilir. Darbe tipi çalışmada, dedektör çıkışı zamanla ayrılan ve çözümlenen sinyal serileridir. Her bir sinyal, bir nükleer parçacığın dedektörle etkileşmesini gösterir. Bir "Geiger Müller" tüpü, darbe tipi çalışan bir dedektöre örnek olarak gösterilebilir. Darbe tipi olmayan bir dozimetri sisteminde ise doğrudan doğruya ölçülen büyüklük, ışınımın dedektör ile birçok etkileşmelerinin meydana getirdiği bir ortalama etkidir. Bu tip çalışmalarda, tek tek parçacıkları çözümlemek için bir işlem yapılamaz. Gerçekte ortaya çıkan olay yüksek hızda olduğundan bu işlem genellikle mümkün olamaz. Böyle bir sistem, ortalama değer dedeksiyon sistemi olarak adlandırılır. Akım tipi iyonizasyon odası bu sisteme bir örnek olarak verilebilir. Burada çıkış akımı, dedektöre birim zamanda gelen parçacıkların sayısı ile orantılıdır.

Gerçek dozimetrik ölçüm, kalibrasyonu yapılmış bir dozimetri düzeneği (elektrometre ve iyon odası) ve su eşdeğeri katı fantom kullanılan bir kurulumla (setup) yapılabilir. Gerçek dozimetri ile tedavi cihazlarının ölçümü, kontrolü yapılabilir ve cihazın enerji ayarları kalibre edilebilir. Referans ölçümde ise kurulumun standart olması gerekmez. Gerçek dozimetri ile birlikte yapılan ilk ölçüm referans alınarak sonraki ölçümlerle ilk ölçüm arasındaki orana bakılır. Bu tip ölçümler yalnızca kararlılık kontrolü için belirlenen periyotlarda yapılan ölçümlerdir.

Klasik bir dozimetri sistemi üç kısma ayrılır: Elektrometre, iyon odası ve triaksiyel uzatma kablosu. Bu elemanlardan oluşan sistemin şematik gösterimi Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Aşağıda bu sistemin elemanları tek tek açıklanmıştır.

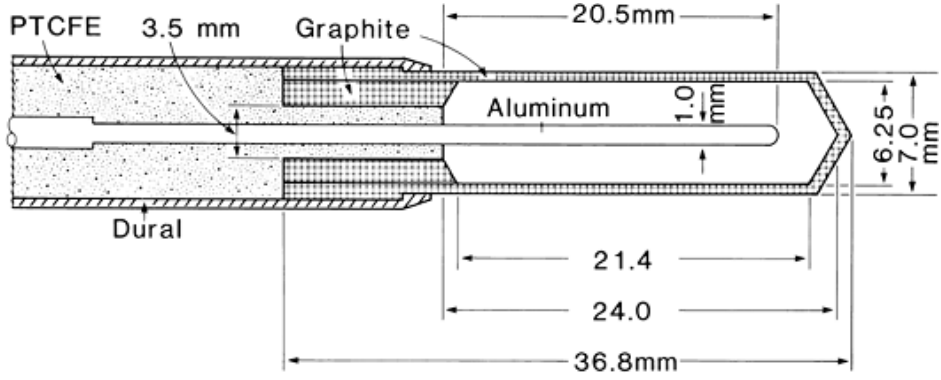


Şekil 1- Klasik Elektrometre Düzeneği

4.1.1 İyon Odası (Farmer Tipi)

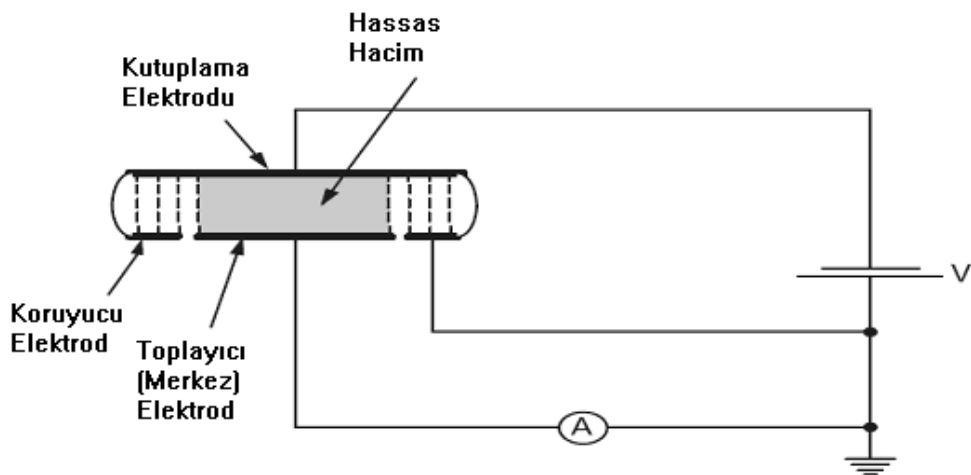
Farmer 1959 'da x ve γ ışınları için bütün enerjilerde, stabil ve güvenilir ikincil standart sağlayan bir iyon odası tasarladı. Bu iyon odası, iyon yükünü ölçmek için spesifik bir elektrometreye bağlı, "Baldwin – Farmer" standart altı dozimetrisi olarak bilinir.⁽¹⁾

Orijinal Farmer iyon odasının tasarımı, daha sonra "Aird ve Farmer" tarafından enerji cevap karakteristiklerini daha iyi vermek ve bir iyon odasından diğerine tasarım değişmezliğini sağlamak için modifiye edilmiştir. Thimble iyon odasının (silindirik iyon odası) şimdiki boyutları ve merkez elektrot Şekil 2'de gösterilmiştir. Thimble iyon odasının duvarı saf grafitten ve merkez elektrot saf alüminyumdan yapılmıştır. Yalıtkan malzeme polytrichlorofluorothylene (PTCFE) içermektedir. İyon odasının toplam hacmi genellikle $0,6 \text{ cm}^3$ tür ve bu volüm çok hassas biçimde üretilir.^(2,3)



Şekil 2- Farmer Grafit / Alüminyum İyon Odası⁽¹⁾

Bir iyon odasında, üç elektrot bulunur. Merkez elektrot ya da toplayıcı elektrot, kutuplama elektrodu ve koruyucu elektrot. Toplayıcı elektrot yük ölçüm aleti olan elektrometreye akımı gönderir. Elektrometre toplayıcı elektrodu yüksek bias voltajında (400 V) tutmak için çift kutuplu bir yüksek voltaj kaynağına sahiptir. Koruyucu elektrot toplayıcı elektrot ile aynı potansiyelde tutulur. Eğer iyon odası en küçük kutup etkisi ile tasarlanırsa, iki kutupta aynı büyüklükte iyon yükü toplanması gerektiği halde, sıklıkla toplayıcı elektrot negatif yükleri toplamak için pozitif voltajda çalışır. Koruyucu elektrot direk olarak topraklanır ve iki amaca hizmet eder. Birincisi iyon odası hassas volümünü belirler diğeri iyon odası kaçak akımlarının ölçülmesini önler. Kutuplama elektrodu doğrudan güç kaynağına bağlıdır.⁽³⁾



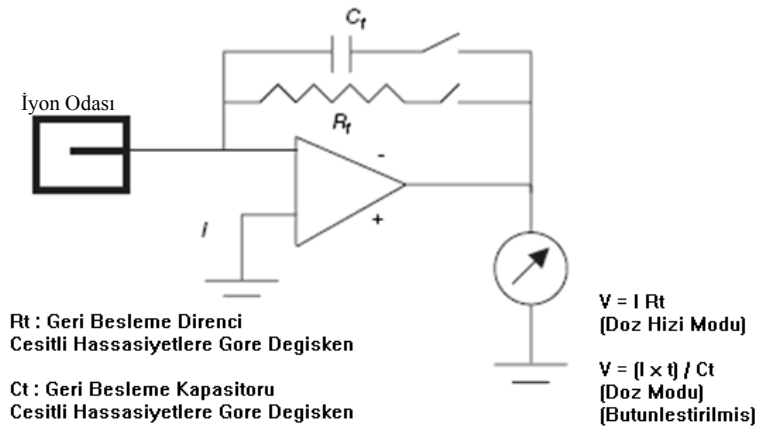
Şekil 3- İyon Odalı Dozimetre Sistemi⁽¹⁾

Şekil 3’de “A” elektrometreyi, “V” güç kaynağını gösterir. İyon odası genellikle gürültüyü düşüren zırhlardan oluşan triaksiyel kablo üzerinden elektrometreye bağlıdır. Merkez tel toplama elektrodundan gelen sinyali elektrometreye taşır. Birinci zırh koruyucu elektrodu toprağa bağlar, dış zırh kutuplama elektrodunu güç kaynağına bağlar. ⁽¹⁾

4.1.2 Elektrometre:

İyon odası içinde oluşan yük ya da akım çok küçüktür ve çok hassas yük veya akım ölçme araçlarıyla ölçülmelidir. Elektrometreler çok küçük akımları ölçmek için kullanılan araçlardır (10^{-9} A veya daha az).⁽¹⁾ İyon odası - elektrometre devresindeki güç kaynağı ya elektrometre içinde ya da ayrı olarak bulunmaktadır. Her iki durumda da önemli olan güç kaynağı aracılığıyla üretilen voltajın polarite ve büyüklüğünün değiştirilebilmesidir.^(1,2) Elektrometreler, radyasyon kaynağına yakın (tedavi odası içinde) kullanılabileceği gibi yeterince uzun kablolar olduğu takdirde, tedavi odası dışına da yerleştirilebilir. ⁽³⁾

Bir elektrometre, iyon odasına bağlandığında, belirli bir zaman aralığında iyon odasında toplanan yükü ölçmek için geri besleme yolunda, standart kapasitör kullanır. İyon odasında oluşan anlık akımı yani doz hızını ölçmek içinse geri besleme yolunda direnç kullanır. Yüksek kazançlı işlemsel yükseltcin, negatif besleme şeması Şekil 4’de gösterilmektedir. ⁽²⁾



Şekil 4- Geri Besleme Modunda Çalışan Elektrometre Şeması⁽²⁾

4.1.2.1 İşlemsel Yükselteç (OPAMP)

İyonlaşma akım veya yükü normal hassasiyetteki voltmetre ve ampermetreler ile ölçülemeyecek kadar küçüktür. Özel elektrometre devreleri bunu tam olarak ölçmek için tasarlanır. Üçgen olarak gösterilen işlemsel yükselteç 2 giriş noktasıyla negatif uç ters çeviren (inverting) uç olarak adlandırılırken, pozitif uç ters çevirmeyen (noninverting) uç olarak adlandırılır. Bu adlandırma, negatif voltaj inverting uca pozitif yükleme voltajı verecek şekilde uygulandığını ve pozitif voltaj noninverting uca pozitif yükseltme voltajı verecek şekilde uygulandığını gösterir. Negatif geri besleme bağlantısı kondansatör veya dirençten birinin devreye katılmasıyla sağlanır.⁽³⁾

4.1.3 Triaksiyel Uzatma Kablosu:

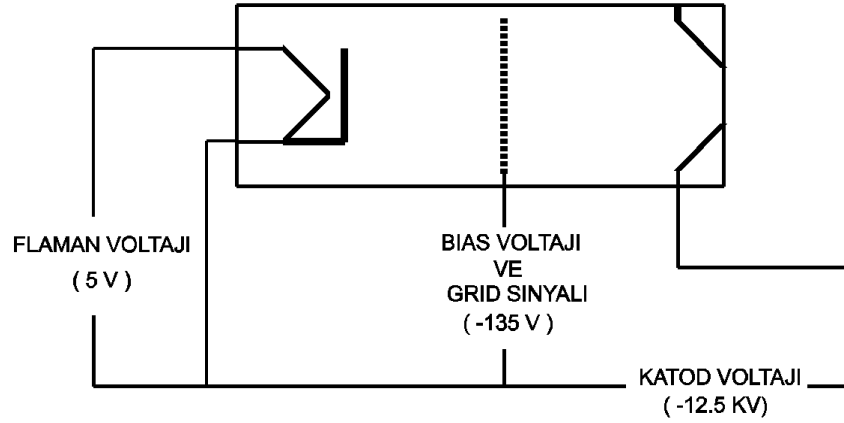
Oda dışına yerleştirilen elektrometre ile oda içindeki iyon odasını birbirine bağlamak için kullanılır. Hassas ve doğru akım ölçümleri için çok kaliteli malzemeden üretilmişlerdir (Şekil 5). 10^{-15} A akımlarda bile ölçüm yapılmasına olanak sağlar. Işınlama sırasında kablo kaçığı (sızıntısı) 10^{-12} C/(Gy·cm) den küçüktür. Kablo, ölçüm sinyali, koruma elektrodu ve yüksek voltaj hattı arasında potansiyel bir yalıtım sağlar. Birleşim konnektörleri, sinyali kayıpsız iletmenin yanında, yüksek gerilimi güvenli şekilde iletir ve koruma elektrodunun da topraklamasını yapar.⁽⁴⁾



Şekil 5- Çeşitli Triaksiyel Kablolar⁽⁴⁾

4.2 Lineer Hızlandırıcı:

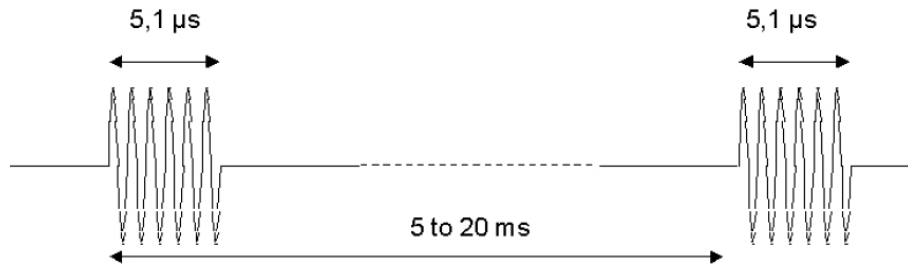
Radyoterapide kullanılan lineer hızlandırıcıların amacı, tedavi ışını elde etmektir. Işın üretimi, enjektör sistemine bağlı elektron tabancasından elektronun hızlandırıcı dalga kılavuzuna (waveguide) salınmasıyla başlar. Enjektör sistemi elektronların sayısını ve hızını kontrol eden sistemdir (Şekil 6). Elektronların hızı anod ile katod arasındaki voltaj ile ayarlanır. Anod ile katod arasında bulunan ve kapı görevi yapan kafes şeklindeki grid adı verilen sisteme sinyal gönderilerek de elektron sayısı kontrol edilir. Elektron tabancasından çıkan elektronların enerjisi sistemden sisteme değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 15keV'tur.



Şekil 6- Lineer Hızlandırıcılarda Kullanılan Tipik Elektron Tabancası Şeması

Radyoterapide bu elektronların kullanılabilmesi için, 21 MV'lik bir potansiyele ulaşması gerekir. Ancak bu potansiyel farkın x-ışını tüplerinde olduğu gibi iki nokta arasında elektrik alanla kısa bir mesafede sağlanması fiziksel olarak mümkün değildir. Bunun için teknolojinin bulduğu çözüm yüksek frekanslı alternatif bir elektrik alan kullanarak elektronları adım adım hızlandırmaktır. Bahsedilen yüksek frekanslı alternatif elektrik alan radyo frekansdır (RF). RF enerji, modülatör ve RF lambası sisteminin sağladığı güç ile üretilir. Lineer hızlandırıcılarda kullanılan, Klystron ve Magnetron adlarıyla bilinen, iki tip RF lambası bulunur. Bu iki lambanın birbirinden farkı Klystronun harici bir RF sinyalini alıp yükseltebilmesine karşın, Magnetron RF sinyalini kendi üretir. Bunun dışında, Klystronun çıkış gücü yaklaşık 7.5 MW ve

Magnetronun maksimum çıkış gücü 2.7 MW tır. Üretilen bu enerjinin ancak küçük bir yüzdesi elektron hızlandırmakta kullanılır, büyük kısmı ise ısıya dönüşür. Bu nedenle, hızlandırıcı sürekli çalışamaz. Yaklaşık 5 μ s çalıştıktan sonra 5-20 ms arasında durmak zorundadır. Bu da 20 ms aralıklarla tekrar eden 5 μ s lik darbelerden oluşan bir RF dalga formuna tekabül eder. Mikrodalga formu Şekil 7'de görülmektedir. Klystronun veya Magnetronun ihtiyacı olan besleme de bu dalga formu şeklinde verilmelidir ki bunu karşılayan kaynak modülatördür. ⁽⁵⁾



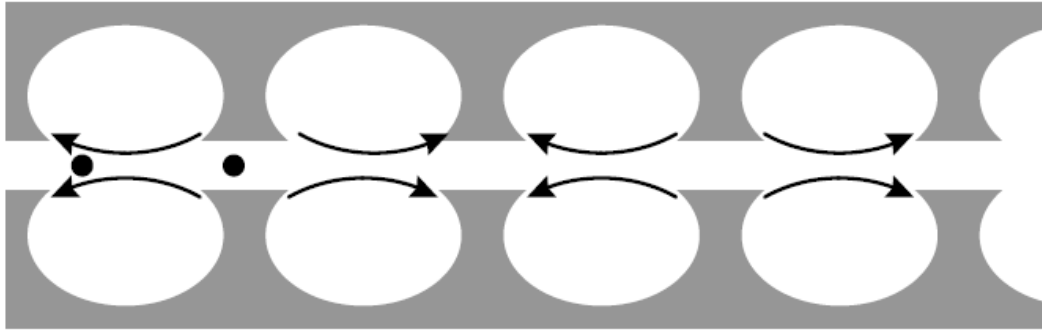
Şekil 7- Modülatörün Ürettiği RF Güç Dalgası (Mikrowave) ⁽⁵⁾

Üretilen RF seramik bir pencereden hızlandırıcı dalga kılavuzuna iletilir. İletim, içinde Sülfür Hekzaflorür (SF_6) gazı bulunan ve boyutları üretilen RF enerjinin dalga boyundan hesaplanan dikdörtgen şekilli bir tüple yapılır. Bu sistem, radarlar radyo vericileri de dahil bir çok RF sistemde de aynidir. RF enerji ile karşılaşan elektron enerji kazanır. Bu işlem hızlandırıcı kılavuzun içindeki kaviterler yardımıyla yapılır. Bakırdan üretilmiş kaviterlerin kesiti, Şekil 8'de görülmektedir. Elektronun kazandığı toplam enerji her kavitede kazandığı enerjilerin toplamı kadardır. Ardaşık iki kaviteden biri elektronu iterken diğeri çekmektedir. İki kavite arasındaki elektrik alanı sıfırdır. Elektron ikinci kaviteye geldiğinde RF dalganın fazı değişerek elektronu hızlandırmaya devam eder. Kaviterlerde oluşan elektromanyetik kuvvetlerin şematik gösterimi Şekil 9'da görülmektedir. Günümüzde, RF sinyalin kılavuz sonunda yansıtılması veya bir yükte (dirençle) toprağa aktarılması ilkesine dayanan sabit (standing) ve hareketli (travelling) dalga kılavuzu olarak adlandırılan iki sistem kabul görmekte ve kullanılmaktadır. ⁽⁵⁾

Daha yüksek enerji elde etmek için elektronların daha çok hızlandırılması gereklidir. Örneğin: 6 MeV enerjiye sahip bir elektronun v/c oranı 0.997 iken aynı oran 15MeV bir elektron için 0.99945 dir. ⁽⁵⁾



Şekil 8- Hızlandırıcı Dalga Kılavuzu Kesiti, Kaviteler. ⁽⁵⁾

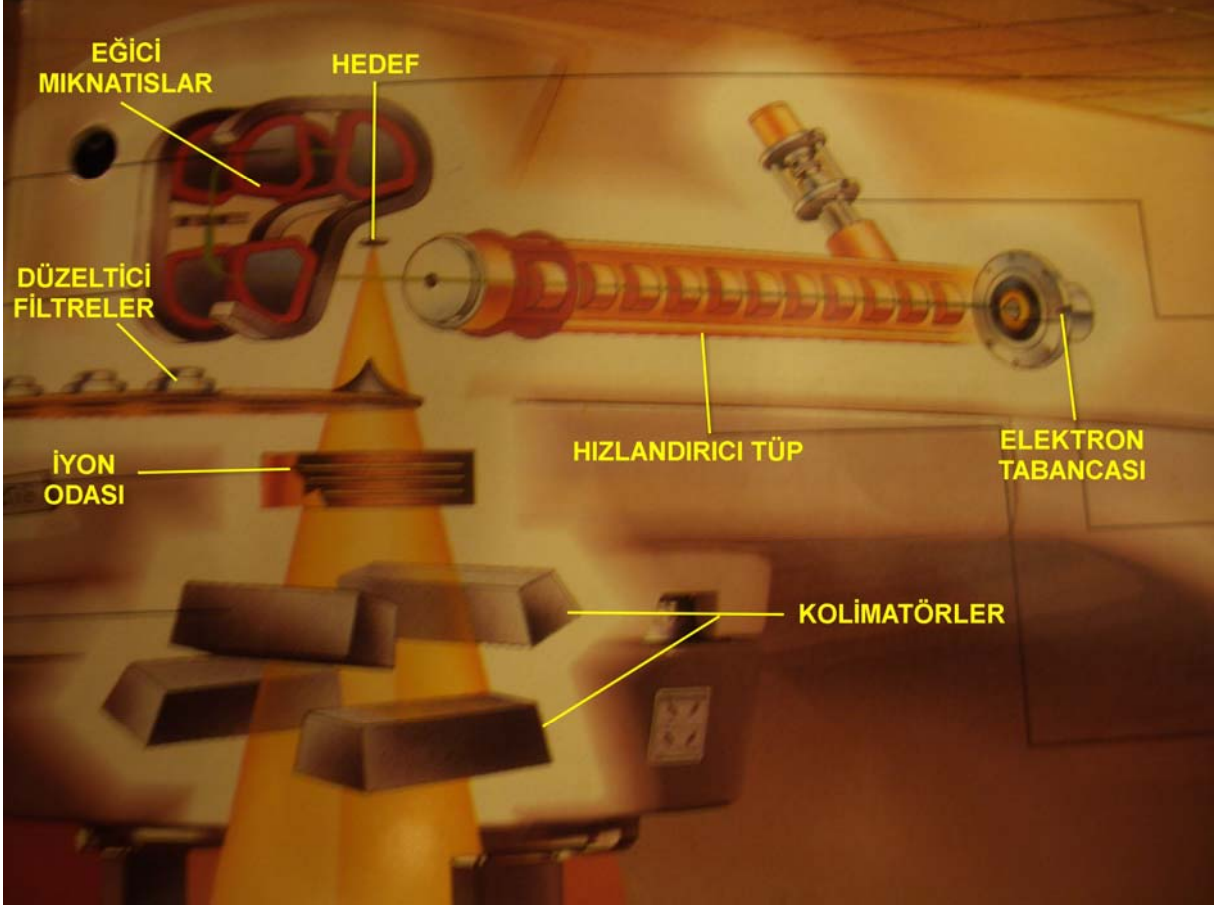


Şekil 9- Kavitelerde RF Enerjinin Oluşturduğu Elektromanyetik Kuvvetler. ⁽⁵⁾

Radyoterapi uygulamalarında, üretilen elektron ve foton ışınının dar bir enerji spektrumunda, homojen ve simetrik olması istenir. Hızlandırılan ve dalga kılavuzundan çıkan elektronlar bu özelliklere sahip değildir. Elektronlar kılavuzdan çıkınca, saptırıcı mıknatıs denilen sisteme girer. Bu sistem ışını 270° döndürür ve iki amacı vardır. İlk olarak enerji seçimi ve filtreleme işlemi yapılır. Uygun elektromanyetik alan ile sadece uygun enerjideki elektronların pencereden geçmesi sağlanır. Bu işleme fokuslama adı da verilir. Bu sistem aynı zamanda elektronların hastaya yönlendirilmesini de sağlar.

Saptırıcı mıknatıstan çıkan elektronlar eğer elektron tedavisinde kullanılacaksa, ince bir saçıcı filtreden geçirilir. Bu şekilde daha geniş ve homojen bir elektron ışınımı elde edilir. Foton ışınımı ile tedavi yapılacaksa, elektronlar ağır metal bir hedefe (çoğunlukla tungsten kullanılır) çarptırılırlar. Çarpışmayla elektronlardaki kinetik enerji kaybı, metal çekirdeğinin yörüngesindeki elektronların yüksek enerjili fotonlar yaymasını sağlar. Bu şekilde üretilen fotonlar, homojen bir ışın elde etmek için enerjisine bağlı olarak düzeltici filtrelerden geçirilir. ⁽⁵⁾

Üretilen elektron veya foton ışını “in-plane” ve “cross-plane” yönündeki kolimatörler yardımıyla şekillendirilerek tedavide kullanılır. Elektronun, elektron tabancasından çıkışından tedavide kullanılmasına kadar izlediği yol Şekil 10’da gösterilmektedir.



Şekil 10- Lineer Hızlandırıcının Yapısı

4.3 RS232 Seri İletişim Protokolü:

4.3.1 RS232 Standardının Özellikleri:

RS232 standardı olarak tanımlanan iletişim metodu, asenkron ve seri iletişim metodudur. Burada seri'nin anlamı, anlık gönderilen bilgi 1 bittir yani sadece 0 veya 1 olabilir. Bit, ikilik düzendeki sayının bir hanesine verilen isimdir. Asenkron'un anlamı da, bilginin daha önceden belirlenen kutucukların içinde gönderilmediğidir. Data

transferi, istenilen her an başlayabilir ve iletişimin ne zaman başlayıp ne zaman bittiğini anlamak transferin alıcı kısmının görevidir.

4.3.2 RS232 Veri Trafiği:

Yukarıda bahsettiğimiz gibi, RS232 standardı tek fiziksel kanaldan aynı anda sadece bir bit gönderebilir. Gönderilen bilgi bu nedenle kelimelere bölünmüş olmak zorundadır. Kelime olarak adlandırdığımız datanın uzunluğu değişkendir. Bilgisayarlarda bu uzunluk 5 ile 8 bit arasında seçilebilir. Bu uzunluk gönderilen kelimenin bilgi içeren uzunluğudur. Uygun transfer için senkronizasyon ve hata kontrol bitleri de gönderilen pakete eklenmelidir. Burada alıcı ve vericinin aynı sayıda bit kullanması önemlidir. Aksi halde, veri yanlış yorumlanır veya tamamiyle tanımsız olur.

Senkron iletişimde, saat sinyali mutlaka olmalıdır. Saat sinyali her bir transferinin başlangıç noktasını belirler. Saat sinyalinin olmaması, senkron olmayan (asenkron) bir iletişim kanalı sağlar. Bu daha ucuz bir yoldur. Data sinyali için ek bir kablo kullanılmaz. Bu iletişimde veri bant genişliğini belirten ekstra bitlerin de pakete eklenmesi zorunludur.

Veri bitlerinin gönderilme frekansına "baud rate" adı verilir. Alıcı taraf da verici taraf da aynı frekansta programlanmalıdır. İlk bit alındığında alıcı geri kalan bitlerin zamanlamasını seçilen "baud rate" sayesinde hesaplar ve bu zamanlarda hattaki bilgiyi yani hat voltajını kontrol eder. RS232 hattı sadece 0 veya 1 bilgisi içerebilir. Hat bunun dışında herhangi bir bilgi içeremez.

Başlangıç Biti: Hat kullanılmazken 1 durumunda bulunur. Veri gönderimine başlanacağını belirtmek amacıyla ilk gönderilen 0 bilgisi başlangıç biti olarak adlandırılır.^(6,7)

Veri Bitleri: Başlangıç bitini takip eden bitlerdir.

Parity Biti: Gönderimde hata olup olmadığını saptamak amacıyla istenildiği takdirde otomatik olarak yerleştirilen bittir. Gönderen bu bilgiyi, gönderilen veriden hesaplar. Alıcı aynı hesabı yaparak bulduğu değeri gönderilen parity bitiyle karşılaştırarak hatayı belirler.

Dur Biti: Alıcının hat gürültüsü gibi nedenlerle başlangıç bitini kaçırdığı durumda tekrar başlangıç bitini beklemesi için kullanılan bittir. Her zaman 1

değerindedir. Belirlenen protokolde başlangıç biti, veri bitleri, parity biti ve dur biti bir veri paketi olarak tanımlanırsa, bu paketin sonunda olması gereken 1 değeri yoksa, bu iletişimin hatalı olduğunu gösterir.

4.3.3 RS232'nin Fiziksel Özellikleri:

Gönderen ve Alan kısımlar için voltaj aralıkları şu şekildedir.

“0” Konumunda gönderen +5 V ile +15 V arasına olması gerekirken Alıcı +3 V ile +25 V arası olabilir. “1” Konumunda gönderenin voltaj seviyeleri -5 V ile -15 V arasına çekilir. Alıcının “1” değerini yorumlayabilmesi içinde hat değerleri -3 V ile -25 V arasında olmalıdır. Bu durumda -3 V ile +3 V arasında tanımsız bir bölge vardır. Normal şartlarda RS232 iletişimde hat hiç bir zaman -3 V ile +3 V aralığında bir değer almaz. ^(6,7)

RS232 Hat Uzunluğu, Electronic Industries Assoc. (EIA) standardında en çok 15 m olarak verilmiştir. Bu değer kablo uzunluğuna bağlı kablo kapasitansının 2500 pF sınırının belirlediği görülür. Düşük kapasitans değerine sahip kablolarla bu mesafe arttırılabilir. Ayrıca, standartta verilen kablo uzunluğu 19200 baud hızında veri iletimi için verilen uzunluktur. Bu hız düşürülerek kablo uzunluğunun arttırılması mümkündür. Texas Instruments Firması 9600 baud hızına düşüldüğünde kablo mesafesinin on kat arttırılabileceğini söylemekle birlikte, bu teorik bilginin pratikte, uzun mesafeler için daha güçlü iletişim protokolleri var olduğundan hiç kullanılmadığını söyleyebiliriz. ⁽⁷⁾

4.4 TCP / IP Ethernet Protokolü ve Bileşenleri:

Bu protokolün temelini ABD Savunma Bölümü tarafından desteklenerek geliştirilen ARPANET oluşturur. ARPANET'te amaç heterojen (kablolu, kablosuz) alt ağların oluşturduğu bir ortamda kesintisiz bir bağlantı oluşturmaktır. Önem verilen bir diğer nokta ise bazı hatların kopması ya da düğümlerin bozulması sonrasında bile alternatif yolların bulunarak bağlantıların yaşatılmasını sağlamaktır. ⁽⁸⁾

TCP/IP katmanlardan oluşan bir protokoller kümesidir. Her katman değişik görevlere sahip olup altındaki ve üstündeki katmanlar ile gerekli bilgi alışverişini

sağlamakla yükümlüdür. Bu katmanlar bir blok şema halinde gösterilmektedir (Tablo 1).⁽⁹⁾

Uygulama	Bilgisayar Programları
Taşıma	TCP
Yönlendirme	IP
Fiziksel	Ethernet (Kablolu/Kablosuz)

Tablo 1- TCP/IP Referans modeli ve Katmanları⁽⁹⁾

Transmission Control Protocol – İletişim Kontrol Protokolü (TCP) katmanının temel işlevi, uygulama katmanından gelen bilginin segmentler haline dönüştürülmesi, iletişim ortamında kaybolan bilginin tekrar yollanması ve network trafiği içinde ayrı sıralar halinde gelen bilginin (segmentlerin) doğru şekilde sıralanmasını sağlamaktır. Internet Protocol – İnternet Protokolü (IP) katmanı ise TCP katmanından segmentler halinde gelen bilginin ne olduğuyla ilgilenmez, kendisine gelen segment paketlerinin ilgili adrese yollanması için çalışır. Bu amaçla ulaşılmak istenen noktaya bir yol çizme görevini üstlenir. Bu işlem “route” işlemi olarak adlandırılır. Segmentlerin doğru adrese ulaşmasını sağlamak için gelen segmentlere bir başlık bilgisi ekler. Başlık bilgisi eklenmiş bu paketler “datagram” olarak adlandırılır.⁽⁹⁾

“Datagram” başlığında bulunan en temel bilgi, kaynak ve varış internet adresleridir. Bunu protokol numarası ve kontrol toplamı (checksum) bilgileri izler. Varış adresi datagramın ulaşılması istenen adrestir. Bu bilgi sayesinde fiziksel yol boyunca bulunan yönlendiriciler (router) ve geçiş yolları (gateway) bu datagramın nereye yollanacağını bilir. Protokol numarası datagramın alıcı tarafında TCP katmanına iletilmesi gerektiğini söyler. Başlık bilgisinin yolda bozulup bozulmadığını kontrol etmek amacıyla da kontrol toplamı bilgisi kullanılır. IP katmanında yapılan bu kontrol işlemi sonucunda paketin doğru yere gidip gitmediği anlaşılır. Paketin içeriğinin bozulup bozulmadığını anlamak için TCP ayrıca bir kontrol toplamı işlemi yapmaktadır.^(8,9)

Bozulmuş paketin ağ üzerinde sonsuza kadar dolaşmasını engellemek amacıyla IP paketinde yaşam süresi adı verilen bir bilgi daha bulunur. Bu bilgi yol üzerindeki her noktada bir azaltılarak diğer noktaya iletilir ve 0 değerine geldiğinde paket yok edilir.

Fiziksel katman, gerçekte Data Link Connection - veri bağ bağlantısı (DLC) adı verilen katmanı ve ona bağlı fiziksel ortamı içerir. Ethernet bu amaçla kullanılan fiziksel bağlantılardan biridir. Kendisine has bir adresleme sistemi kullanır. Tasarım amacı tüm fiziksel noktaların kendine has bir adresi olmasıdır. Bu adres 48bitlik bir veri içerir ve fabrika çıkışı her cihaz için ayarlanır. Ağ üzerindeki her nokta, paketin içindeki varış adres bilgisine bakarak kendine ait paketleri alır. Ethernet protokolünde de veri kontrolü toplam kontrol metodu ile yapılır. Üzerinde ethernet protokolü başlık bilgileri de bulunan pakete "frame" adı verilir.

Paketler varış noktasına alındığında bütün başlıklar uygun katmanlarca kontrol edilerek atılır ve paket bir üst katmana iletilir. IP katmanından sonra TCP katmanı, başlıktaki sıra numaralarına bakarak dosyayı orijinal durumuna getirir ve uygulamaya ileterek görevini tamamlar.⁽⁹⁾

5 GEREÇ VE YÖNTEMLER:

5.1 Stronsiyum-90 Test Kaynağı:

Yüksek hassasiyetli gerçek (absolute) dosimetride kullanılan Stronsiyum-90 test kaynağı, dozimetri sistemlerinin sabit ve doğru ölçüm yaptığının kontrolü ve ölçüm aletlerinin kalibrasyonu için kullanılan cihazdır (Şekil 11). Zırhlamanın içinde Stronsiyum - 90 (⁹⁰Sr) radyoaktif maddesi içerir. Ölçüm için kullandığımız, kontrol cihazı, silindirik iyon odaları için yapılmıştır. İyon odasının bu cihaza yerleştirilebilmesi için iyon odasına uygun adaptör kullanılır (Şekil 12). Bu parçalar iyon odasının her ölçümde aynı şekilde konumlanmasını sağlar. İyon odasının üzerindeki işaret ve adaptördeki işaret birbirinin üzerine çakıştırılarak iyon odası her ölçümde adaptörde aynı noktaya yerleştirilebilir (Şekil 13). Cihaz üzerinde bulunan işaretle adaptördeki işaret çakıştırılarak da iyon odası adaptörüyle beraber satabilite cihazına yerleştirilir (Şekil 14). Bu cihazla beraber iyon odasının merkezinin

bulunduğu konumdaki ısıyı ölçmek için özel bir termometre kullanılır. Bu cihazlarda kullanılan kaynağın aktivitesi yaklaşık $30\text{MBq}\pm 10\%$, yarılanma süresi 28.7 yıl, doz hızı da $1\mu\text{Sv/saat}$ den azdır.⁽¹⁰⁾



Şekil 11- Stronsiyum-90 Test Kaynağı

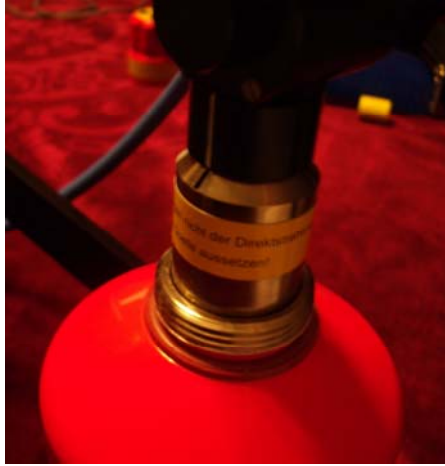
Doğal ve yüksek hassasiyetli kaynağın kullanılması, geliştirilen sistem ile klasik sistemin karşılaştırılmasını mümkün kılmıştır.



Şekil 12- İyon Odası Adaptörü ve İyon Odası



Şekil 13- İyon Odasının Adaptöre Yerleştirilmesi



Şekil 14- İyon Odasının Adaptörle Test Kaynağına Yerleştirilmesi

5.2 Termometre ve Barometre:

Ölçümde kullanılan silindirik tip termometre, Stronsiyum-90 test kaynağının yuvasına tam olarak yerleşebilecek şekilde tasarlanmış, alüminyum kılıfa sahip cam tüp içinde civalı bir termometredir. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ çözünürlükle (hassasiyetle) en çok $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ sapmayla ölçüm yapabilir. Termometrenin zaman sabiti 95 saniye, uzun zamanlı kararlılığı 15 yıldır. Şekil 15'de, termometre, test kaynağına yerleştirilmiş ve ölçüm yapılırken görülmektedir.

Çok hassas olan bu özel termometre, iyon odasının yerleştirildiği noktaya kadar indiği için ölçüm sırasındaki ısıyı ölçmede en doğru sonucu vermek üzere tasarlanmıştır.



Şekil 15- Stronsiyum-90 Test Kaynağı İçinde Termometre ile Isı Ölçümü

Barometre olarak, kalibrasyonu yapılmış, 0.1 mBar hassasiyete sahip bir barometre kullanılmıştır. Şekil 16'de Barometrenin ölçümler sırasında çekilmiş fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 16- Barometre ile Hava Basıncı Ölçümü

5.3 Kullanılan Elektrometre ve İyon Odası:

5.3.1 Elektrometre:

Yapılan ölçümler, PTW marka UNIDOS E Model, kompakt elektrometreyle yapılmıştır. Bu elektrometre, rutin dozimetride kullanılan referans sınıfı bir alan elektrometresidir. Yüksek doğruluk ve hassasiyete (çözünürlüğe) sahiptir. Çok geniş dinamik ölçüm aralığına sahiptir. Cihazın kontrolü ve datanın alınması için RS232 arabirimine sahiptir.⁽¹¹⁾ Diğer özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Toplam doz ve anlık doz hızı ölçümü yapabilir.
- Hassasiyeti 1fA dır.
- Yüksek güç kaynağı 50 Volt aralıklar ile en çok 400 Volt olabilir.
- Otomatik sızıntı kompanzasyon (düzeltme) özelliği vardır.
- Ölçümleri radyasyon birimlerle, Gy, R, Gy/dak, R/dak olarak elektriksel birimlerle de C ve A olarak ölçer.



Şekil 17- PTW UNIDOS E Referas Serisi Elektrometre ⁽⁴⁾

5.3.2 İyon Odası:

PTW marka, 30006 model iyon odası, 0.6cm^3 hassas hacme sahiptir. Gerçek foton ve elektron dozimetrisinde kullanılır (Şekil 18). En çok kullanılan model olarak bilinir. Su geçirimsiz olduğu için aynı zamanda su fantomu ölçümlerinde de kullanılabilir. Yaklaşık kullanım aralığı photon için (nominal foton enerji aralığı) 30kV ile 50MV, elektron için ise 6MeV ile 50MeV dir. Tepki hassasiyeti, 2×10^{-8} C/Gy dir. Duvar materyali grafittir. Akrilik koruyucu dış katmanı ve merkez elektrodu aluminyumdur. Kaçak akımı sadece $\pm 4 \times 10^{-15}$ A dir. En çok, 500Volt kutuplama voltajına dayanır. 10°C ile 40°C sıcaklıkları arasında ve %10 ile %80 bağıl nemde çalışabilir. İyon toplama zamanı 300Volt için 0.18ms, 400Volt için 0.14ms, 500Volt için 0.11ms dir. ⁽¹²⁾

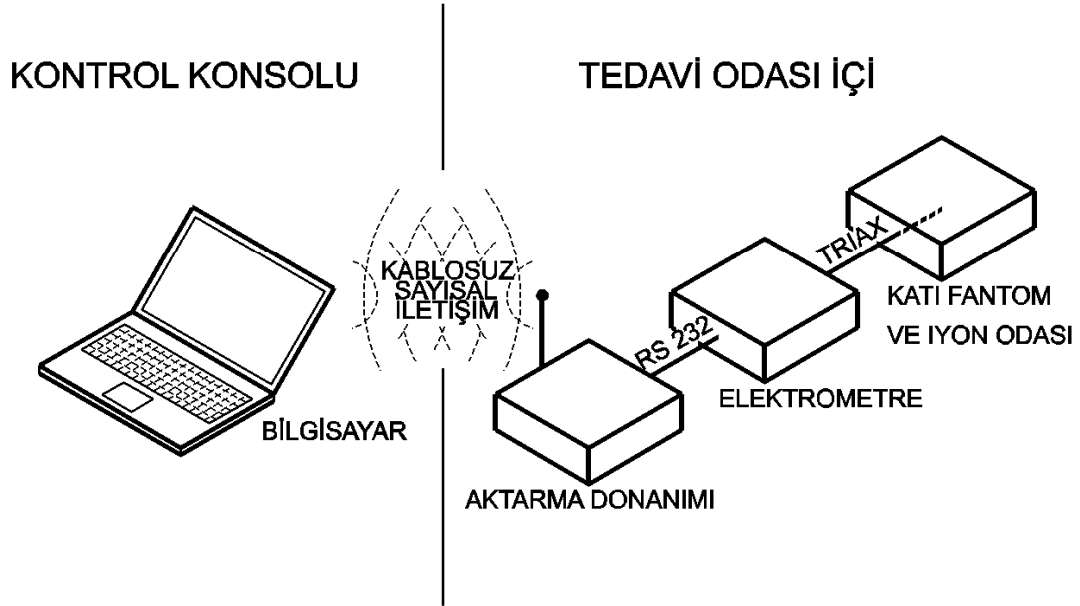


Şekil 18- PTW 30006 Farmer Tipi İyon Odası ⁽⁴⁾

5.4 Geliştirilen Sistemin Yapısı:

Sistemin genel yapısı ve dozimetri düzeneği, Şekil 19'de olduğu gibidir. Burada katı fantom içine yerleştirilen iyon odası doğrudan elektrometreye bağlanmıştır. Elektrometre RS232 protokolünde seri iletişim yapabilen bir elektrometredir. Bu yolla sıfırlama, ölçüme hazır hale gelme, ölçüme başlama, ve ölçüm sonucunu hafızada tutma gibi komutları seri port üzerinden alabilmekte ve aynı

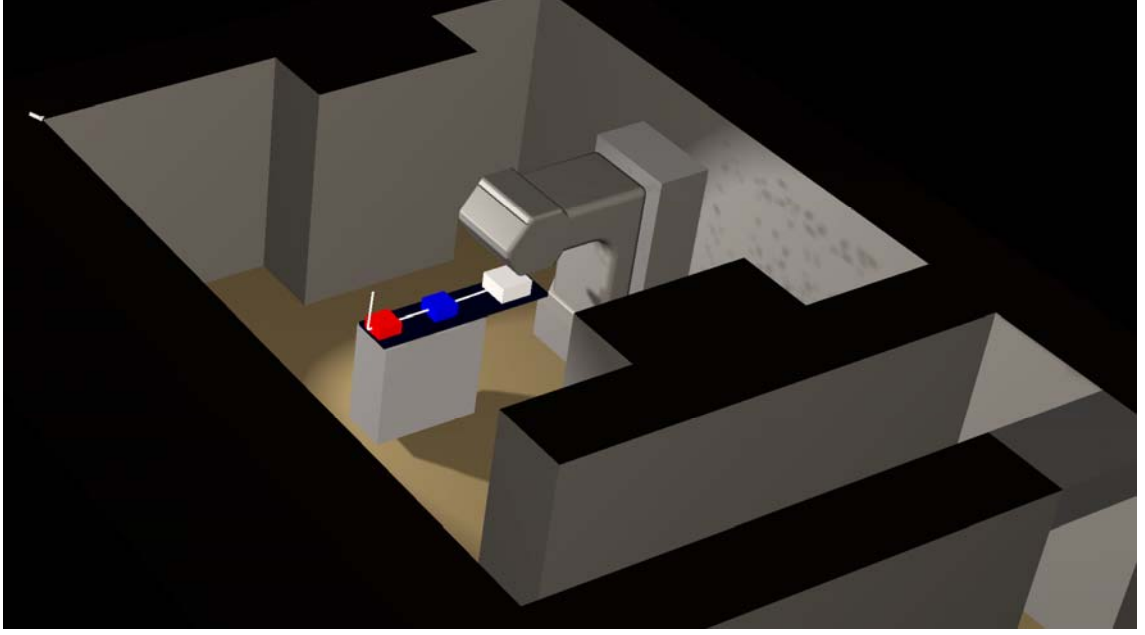
yolla sayım sonuçlarını iletebilmektedir. Çevirici kutu elektrometre tarafında RS232, kablosuz erişim noktası tarafında internet protokolü (IP) olacak şekilde iki yönlü çevirme işlemini gerçekleştirir. Kablosuz erişim noktası, oda dışındaki bilgisayar ile dozimetri sisteminin 802.11 protokolüyle TCP/IP üzerinde iletişimini sağlama görevini üstlenir. Şekil 20'de katı fantom içine yerleştirilmiş iyon odası, elektrometreye (ortadaki kutu) doğrudan bağlıdır. Elektrometre RS232 kablo ile en solda görülen Çevirici kutuya bağlanır. Çevirici kutu da oda dışındaki bilgisayar ile kablosuz olarak haberleşmektedir. Sistemin tüm parçaları aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.



Şekil 19- Sistemin Genel Yapısı ve Dozimetre Düzenegi

5.4.1 İletim / Aktarma Sistemi:

Bu sistemi donanım ve yazılım olmak üzere iki kısma ayırabiliriz. Donanım kısmı elektrometrenin RS232 çıkışını internet protokolüne çevirmek ve bunu kablosuz olarak yayınlamak görevini üstlenen kısımdır. (Şekil 20, En soldaki kutu) Yazılım kısmı elektrometreyi kontrol ettiğimiz, ölçüm bilgilerini aldığımız bilgisayardaki yardımcı ve asıl programlardır. Bu iki kısmın çalışma prensipleri aşağıda ayrı ayrı özetlenmiştir.

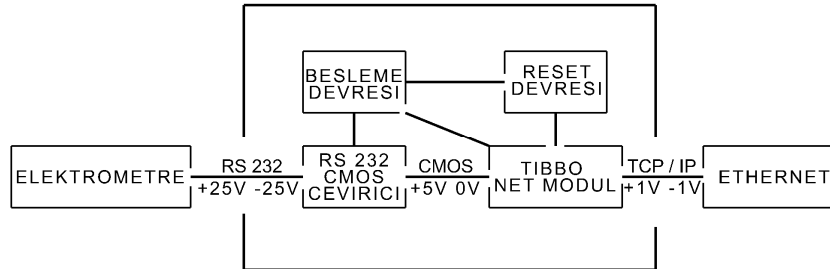


Şekil 20- Dozimetri Sistemi Genel Görüm.

5.4.2 Çevirici Kutu:

Sistemi klasik elektrometre sistemlerinden ayıran en önemli kısım bu kısımdır. Kutunun üzerinde RJ45 ethernet portu, RS232 seri portu ve DC güç girişi bulunur. Kutunun alt kısmında bulunan anahtar, yazılımsal veya donanımsal bir hata sonucu sistemin kilitlemesi durumunda sistemi baştan çalıştırmak için sisteme reset komutu göndermek üzere tasarlanmıştır.

Bu kutunun içindeki donanımı iki kısma ayırabiliriz:



Şekil 21- Çevirici Kutu İç Yapısı

5.4.3 Tibbo Sunucu (Server) Modül:

Tibbo Sunucu Modül, RJ45 ethernet portu, bir adet Complementary Metal Oxide Semiconductor – Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı iletken (CMOS) seviyesinde seri porta ve bir işlemciye sahiptir. İşlemci üzerinde çalışan program (Firmware) ethernet ile seri port arasında köprü görevi üstlenir. Standart ethernet kablosu RJ45 portuna direkt takılarak modülü network tarafına bağlar (Şekil 22).⁽¹³⁾

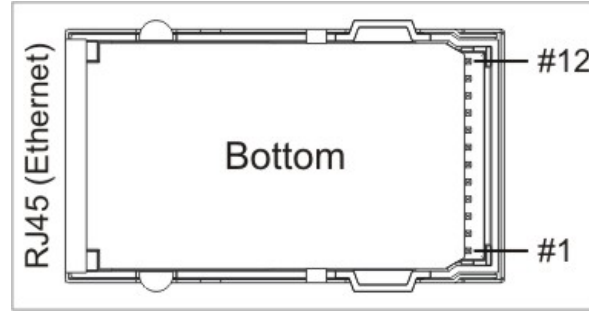


Şekil 22- Tibbo Sunucu Modül⁽¹³⁾

Modülün seri kısmında durum biraz daha farklıdır. Bu kısımda kullanılan seri iletişim CMOS seviyesindedir. CMOS seri iletişimde aktif olarak mantıksal “LOW” (0) kullanılır. Hat kullanılırken, Read-Gelen (RX) ve Transmit – İletilen (TX) hatları Mantıksal “HIGH” (1) olur. CMOS Seri iletişim dizininde başlangıç biti mantıksal “LOW” son biti de mantıksal “HIGH” olur. Clear to Send – Gönderme hazır (CTS) ve Request to Send – Gönderme isteği (RTS) için ise Mantıksal “LOW” “İletişime izin veriliyor” anlamına gelirken “HIGH” “İletişime izin verilmiyor” anlamına gelir. Birçok mikro kontrolcü, mikro işlemci ve Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – Evrensel eşzamanlı olmayan alıcı veya verici (UART) entegreleri CMOS seviyesinde seri iletişim kurabilir ancak bu iletişim aynı devre kartının veya cihazın içinde kullanılan bir standarttır. Elektrometrede veya standart bilgisayarlarda RS232, RS422, RS485 gibi standartlar kullanılır. RS232, CMOS’un tamamen tersidir. RS232 standardında aktif olarak mantıksal “HIGH” kullanılır. Bizim de ihtiyacımız olan RS232 standardı olduğu için Tibbo sunucu modülü tek başına kullanmamız mümkün olmamaktadır. Seri iletişim protokolünü CMOS seviyesinden RS232 protokolü seviyesine çevrilmesi gerekmektedir. Bunun için tasarlanan devre açıklaması ve şeması, sürücü devre kısmındadır.

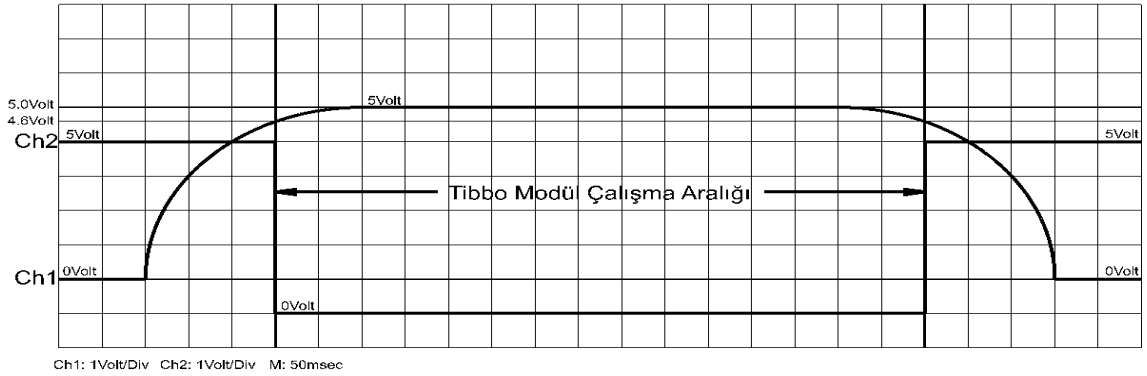
Modülün alt kısmında seri iletişim için pin bağlantıları mevcuttur. Modül pin yerleşimleri Şekil 23'de görülmektedir. Bu pinler sırasıyla;

- 1- MD Mod seçme
- 2- RST Reset
- 3- DTR ,Data almaya hazır çıkışı
- 4- DSR
- 5- LED
- 6- LED
- 7- Vcc, Pozitif Voltaj Beslemesi
- 8- Gnd, Toprak
- 9- RX, Seri hat girişi
- 10- TX, Seri Hat çıkışı
- 11- CTS, Data göndermeye hazır girişi
- 12- RTS, Data gönder emri(isteği) çıkışı



Şekil 23- Tibbo Modül Pin Bağlantıları (Altta) (13)

Modülün beslemesi 7 ve 8 nolu pinlerden yapılmaktadır. 5V DC gerilimle çalışan modülde voltajın sadece $\pm\%5$ toleransı vardır. Networke bağlı haliyle maksimum 230mA akım çeker. Bu nedenle modül, girişindeki voltaj değişikliklerinden trafolu klasik güç kaynaklarına göre daha az etkilenen switching mode bir güç kaynağıyla beslenmiştir. 2 nolu reset pininin besleme voltajıyla ilişkisi Şekil 24'de görüldüğü gibidir.



Şekil 24- Besleme Voltajı ve RESET Sinyali Grafiği

Burada;

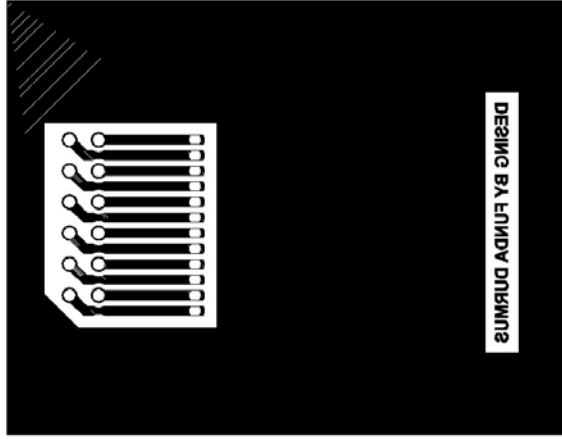
Ch1, Besleme voltajını göstermektedir. Besleme voltajı, güç kaynağı açıldıktan sonra belirli bir sürede 5V'a çıkmaktadır. Düşük voltajlarda sistem stabil çalışmayacağı için rst pininin besleme voltajı ancak 4.6V ve üzerinde olduğunda çalış komutunu vermesi gereklidir.

Ch2'de, reset pinine 4.6V ve üstünde uygulanan reset sinyali görülmektedir. Reset sinyalini vermek için giriş voltajını algılayan bir devre oluşturmamız gerekmiştir. Bu devrenin çalışma ilkesi sürücü devre kısmında anlatılmıştır.

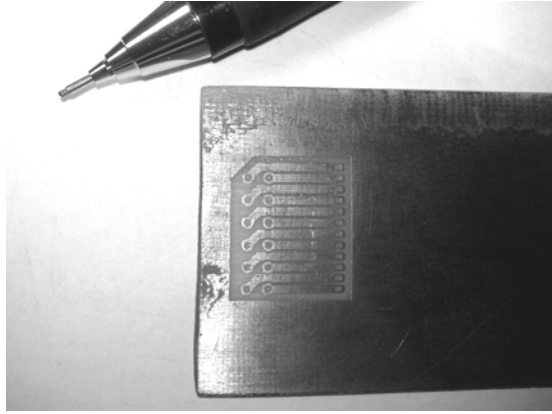
MD bağlantısı, tibbo modülüne yeni yazılım (firmware) yüklenmesi ile ilgili pindir. Bu pin "LOW" olduğunda program moduna girer. Bu projede, standart yazılım kullanıldığı için bir direnç ile pozitif beslemeye bağlanarak sürekli "HIGH" konumunda tutulmuş böylece modülün çalışma modunda kalması sağlanmıştır.

Seri iletişim için RX, TX, CTS ve RTS bağlantıları kullanılmıştır.

Modülde pin bağlantıları birbirine çok yakın olması nedeniyle pinlere direkt kablo bağlantısı yapılabilmesi mümkün olmamıştır. Bu nedenle bu modül için ayrı bir plaket tasarlanarak uç bağlantıları bu şekilde kullanılabilir hale getirilmiş, ayrıca bu şekilde modülü kutuya vidalamak ve stabil kalmasını sağlamak mümkün olmuştur. Bu plaketin çizimi ve yapılan kartın fotoğrafı Şekil 25 ve Şekil 26'de görülmektedir.



Şekil 25- Baskılı Devre Şeması



Şekil 26- Plaketin Hazırlanmış Hali

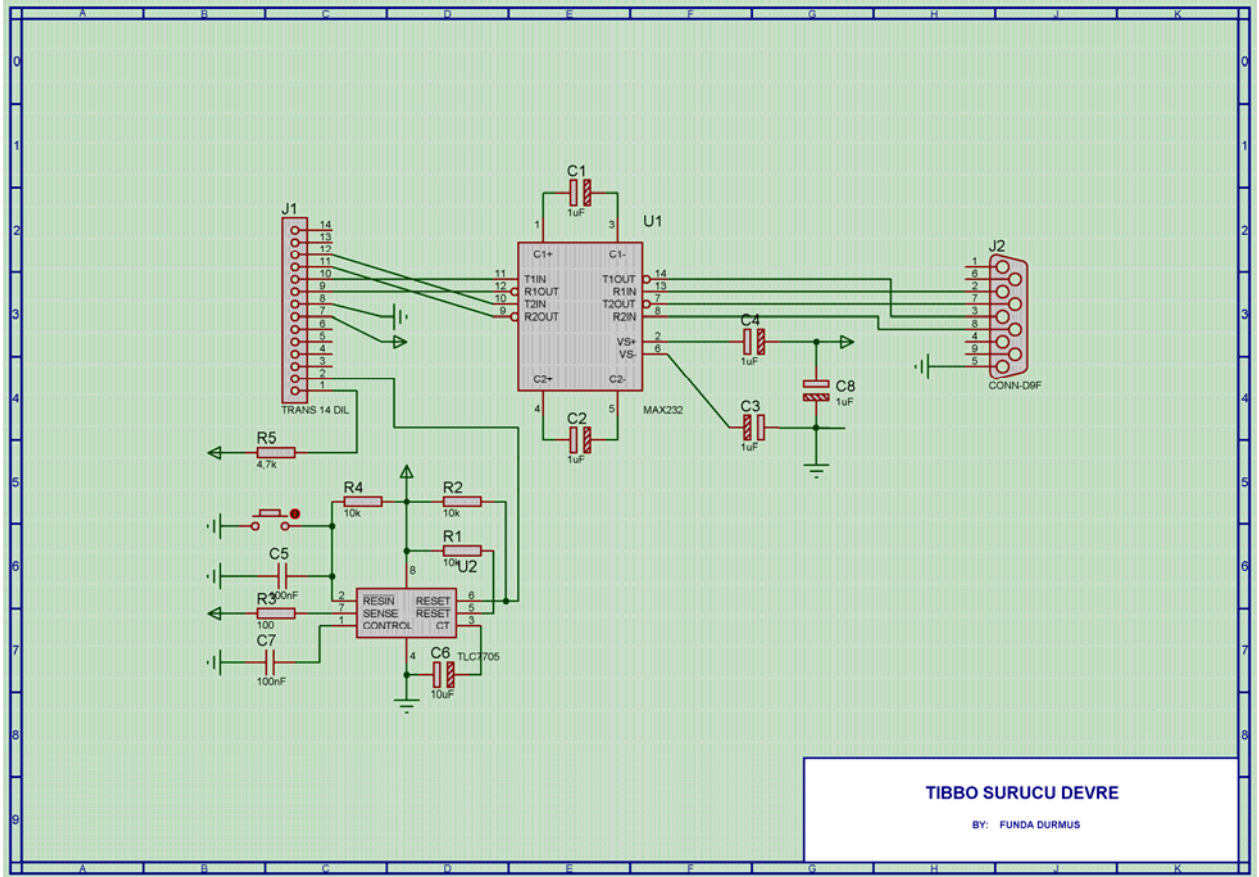


Şekil 27- Tibbo Modülün Plaket Üzerine Monte Edilmiş Hali

Şekil 27’de modülün hazırlanan plaket üzerine yerleştirilmiş şekli görülmektedir. Burada arka kısımda görülen çıkış pinleri tibbo modülü, sürücü devreye bağlamaktadır.

5.4.4 Sürücü Devre:

Sürücü devre, RS232 sinyali ile CMOS seviyesi arasında çevirme işleminin yapılması, Tibbo modülünün çalışma moduna çekilmesi için gerekli sinyal (MD sinyali) ile, Tibbo modülün besleme voltajının verilmesi ve Reset sinyalinin oluşturulması görevlerini üstlenir. Sürücü devrenin devre şeması Şekil 28’deki gibidir.

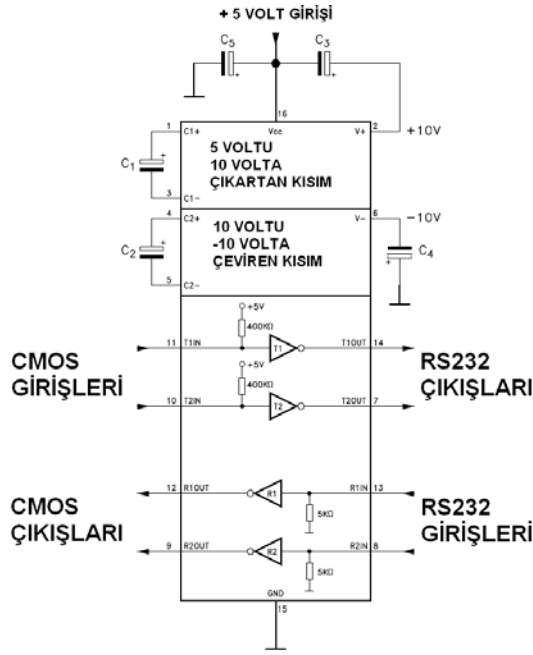


Şekil 28- Sürücü Devre Elektronik Devre Şeması

Bu devrede, CMOS – RS232 çevirme görevini üstlenen Max 232 entegresidir. Bu entegre voltaj yükseltici, voltaj çevirici ve sinyal dönüştürücü olmak üzere 3 kısımdan oluşur. Entegrenin iç yapısını Şekil 29’de görebiliriz. 5 V ile beslenen bu

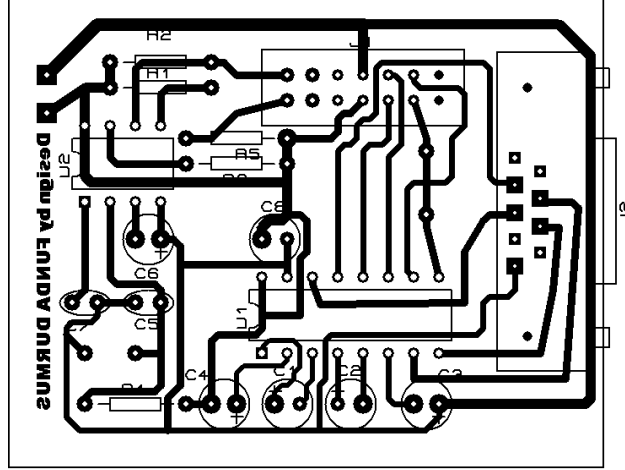
devre 5 V'u 10 V düzeyine çıkartır. Daha sonra 10 V'tan -10 V üretir. Bu ürettiği voltajı kullanarak 0-5 V düzeyindeki CMOS seviyesi girişlerini RS232 iletişimi için makul bir seviye olan ± 10 V seviyesine çıkarabilir. RS232 için izin verilen maksimum limit ± 25 V'tur. RS232 sinyal seviyesindeki girişleride 0-5 V seviyesindeki CMOS standardına indirir.

TL7705 entegresi, besleme voltajı yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Tibbo Netmodül içindeki yazılımın doğru şekilde başlatılabilmesi için voltaj değerinin uygun noktaya geldiği anı reset sinyali üreterek tibbo modüle bildirir. Tibbo Netmodül bu andan itibaren yazılımı çalıştırarak, doğru şekilde işleme başlamış olur. TL7705 entegresinin ürettiği sinyalin besleme voltajıyla değişimini Şekil 24'de görebiliriz. ⁽¹⁴⁾



Şekil 29- 232 Entegresinin İç Yapısı

Bu devrenin baskılı devre haline getirilmiş ve imal edilmiş durumunu sırasıyla Şekil 30 ve Şekil 31'da görebilirsiniz.



Şekil 30- Tibbo Sürücü Devresi Baskılı Devre Şeması

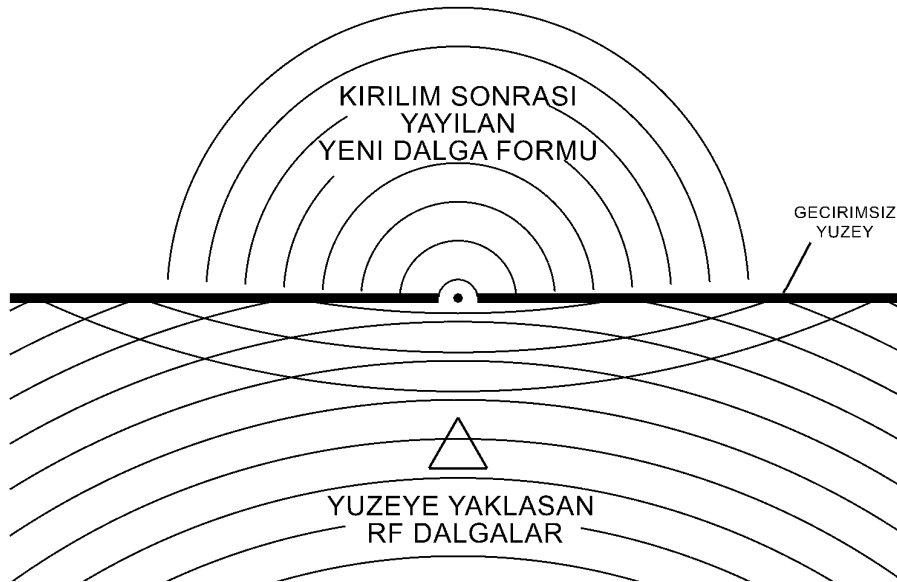


Şekil 31- Tibbo Sürücü Devresi Elektronik Kart Fotoğrafı

5.4.5 Kablosuz Erişim Noktası ve RF Sinyal Kuvvetlendirici:

Sistemin standart bir dizüstü bilgisayar ile özel bir donanım gerektirmeden kullanımı amaçlanmıştır. Ölçüm yapan bilgisayarda hiç bir özel donanım kullanılmaması sisteme kolay ve hızlı kurulum avantajı getirmektedir. Kablosuz haberleşmede kullanılan 802.11 (kablosuz ethernet) TCP/IP protokolünde çalışan bir erişim noktası bu ihtiyaca cevap verebilir. Metaller, yörüngelerindeki elektronların

salınım yapabilme yeteneği sayesinde RF enerjiyi soğurabilir. Bu nedenle RF sinyal metal kapıdan geçemez. Beton duvarların içinde de büyük enerji kaybeder. RF sinyalin beton duvardaki kaybı sinyalin frekansına ve betonun cinsine bağlı olarak 100 ile 150 dB/m arasında değişen bir değerdedir. 2.45 GHz bir RF sinyalin 30 cm'lik bir beton duvarın içinden geçişinde 1 Watt'lık bir enerji kaybı sözkonusudur. 30 mW gücünde bir RF sinyalin oda dışına çıkması, kısa dalga boyu (12.5 cm) nedeniyle bu sinyalin duvar, kapı vb. tüm yüzeylerden yansımaları, köşelerde kırılması, sapması ve tekrar yayılması sayesinde gerçekleşmektedir. Oda çıkışıdaki, kapı altı boşluğu, kablo geçişleri vb. boşluklarda, Huygens ilkesine uygun davranarak Şekil 32'deki gibi bu noktalarda ayrı bir kaynak varmış gibi tekrar yayılır. Bu özellik sayesinde sinyal oda dışına taşınabilir. ^(15,16) Vericinin sinyal gücünü belirlemek için oda içine yerleştirilen kablosuz sistemlerle testler yapılmış ve 15 dB (30 mW) çıkış gücü olan standart kablosuz bir erişim noktası sinyalinin, oda dışına ulaşabilse de sinyal hassasiyetinin yetersiz olduğu ve haberleşmede kopuklukları yaşandığı gözlemlenmiştir. Sinyal gücünü arttırmak amacıyla da 33 dB (2000 mW) güç üreten bir yükselteç (anfi) kullanılmıştır. Bu şekilde kontrol konsolunun bulunduğu bölümden sistemin yönetilmesi ve verilerin alınabilmesi mümkün olmuştur.



Şekil 32- Huygens İlkesine Göre RF Dalgaların Tekrar Yayılımı

5.4.6 Yazılım:

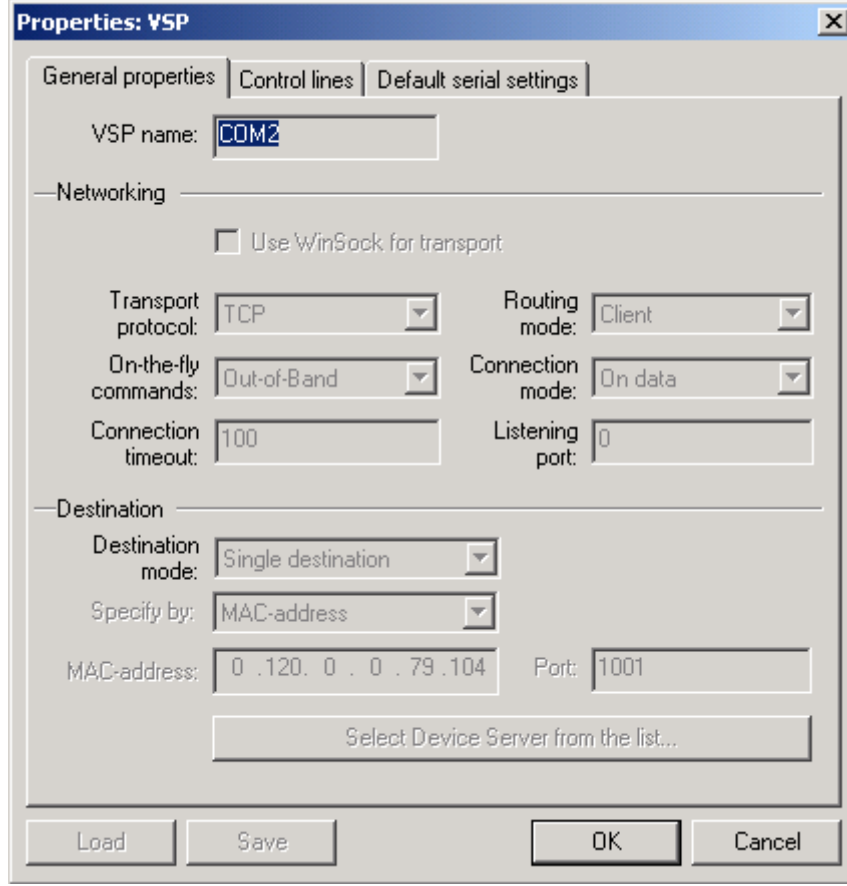
Yazılım kısmı, oda dışında bulunan bilgisara kurulan programları içermektedir. Kullanılan elektrometre RS232 seri iletişim protoklü çerçevesinde kontrol edilebilmektedir. Elektrometreye iletilen komutlar ve elektrometreden gelen ölçüm bilgilerinin tamamı RS232 standardındadır. Elektrometre kontrol programı komutlarını seri porta yönlendirmekte ve ölçüm bilgilerini seri porttan beklemektedir. Bu nedenle arada köprü görevini üstlenecek başka bir programa ihtiyaç vardır. Bu program sanal bir seri port oluşturacak, bu porta gelen bilgileri ethernet üzerinden ilgili cihaza gönderebilecek dönüşümleri yapacaktır.

Bu kapsamda kullanılan programları incelersek:

5.4.6.1 VSPD - Sanal Seri Port Programı:

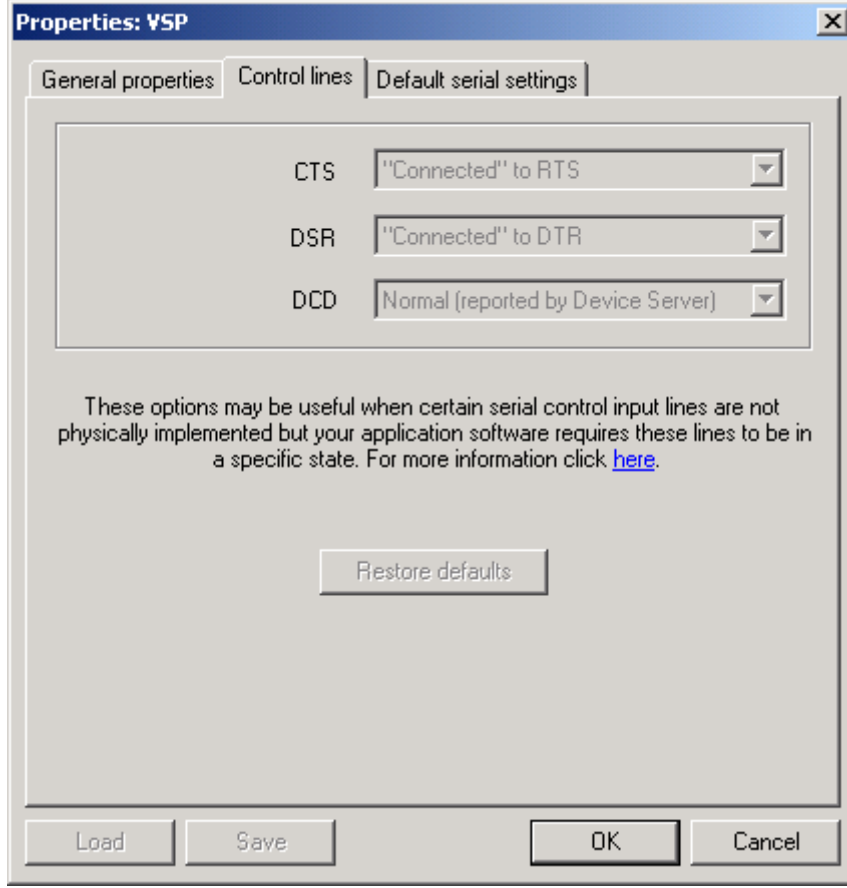
Seri iletişim yapan sistemlerin, network ortamına taşınması için kullanılır. Windows işletim sistemine bir sürücü olarak yerleşir. Bu sürücü, Windows ortamında çalışan tüm programlara standart fiziksel bir seri port gibi görünür ve davranır. Arka planda dataları Windows ortamında çalışan programla Tibbo sunucu cihazının fiziksel seri portu arasında yönlendirme işlemini üstlenir. ⁽¹³⁾

Program seçilen ethernet protokolüne uygun olarak veri paketlerinin önüne, gideceği ethernet ağı üzerinde bulunan Tibbo sunucusunun adresini ve kontrol verilerini yerleştirir. Şekil 33'te görüldüğü gibi, Windows programlarının yönlendirilebilmesi için sanal seri porta isim verilir. Uygulamamızda, bu porta COM 2 adı verilmiştir. Bu nedenle, herhangi bir Windows programından COM 2 seri portuna giden veriler, Sanal Seri Port programına yönlendirilecektir. Gelen datanın hangi protokole uygun olarak çevrileceği bu ekranda belirlenir. Görüldüğü gibi daha önce faydalarını anlattığımız TCP protokolü seçilmiştir. Yönlendirme bölümünde, Tibbo sunucusunun ağ üzerinde aldığı adres seçilerek yönlendirmenin hangi cihaza yapılacağı belirlenir. Bu şekilde çok sayıda cihazın aynı ağ üzerinde çalışması sağlanmıştır.



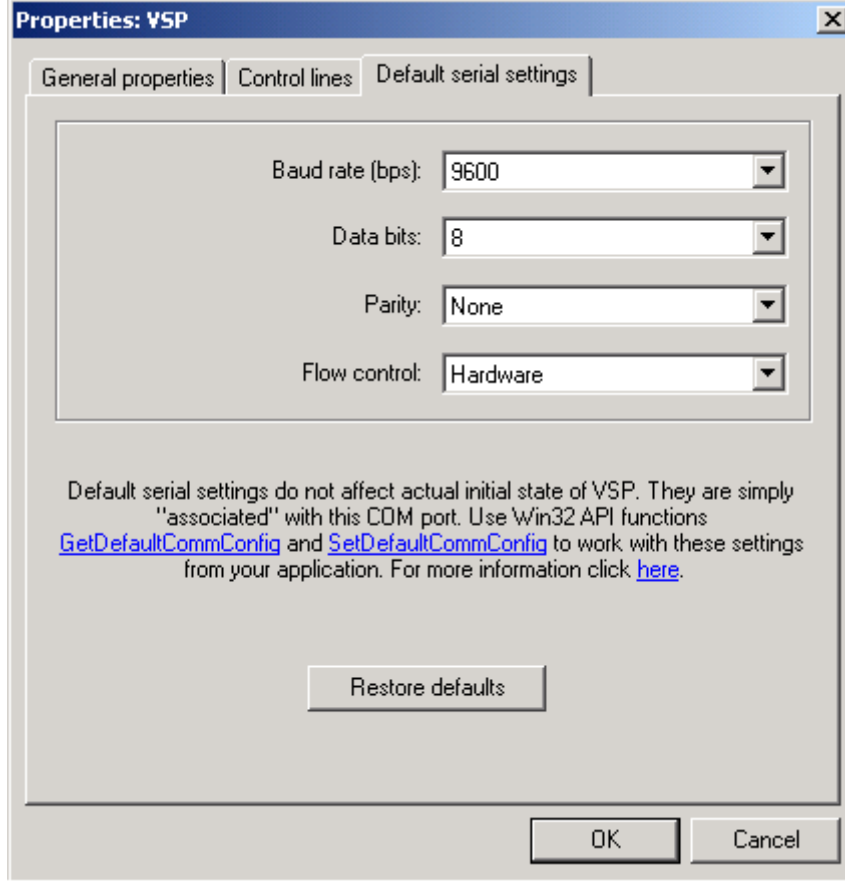
Şekil 33- Sanal Seri Port Programı, Protokol ve Adres Ayarları

Kontrol hatları ayarı, daha önce Şekil 23'te de açıkladığımız 3 ve 4 uçlarının görevlerini belirlemek için kullanılır (Şekil 34). RTS, TX çıkışından data gönderilmeye hazır olduğunu belirten uçtur. DTR de, RX girişinden bilgi almaya hazır olduğunu belirtir uçtur. Seri iletişim sırasında bu bilgiler beklenerek karşı taraf hazır olduğunda bilginin gönderilmesi sağlanabileceği gibi bu pinler ayar ekranında doğrudan "HIGH" yapılarak karşı tarafın hazır olmasına bakılmaksızın bilgi gönderimi sağlanabilir ancak veri kaybına açık bir yöntemdir. Şekil 34'deki ayar ekranında görüleceği üzere kontrol hatları DTR ve RTS bilgilerini bekleyecek şekilde sistem ayarları yapılmıştır.



Şekil 34- DTR ve RTS Kontrol Uçlarının Görevlendirilme Ayarları

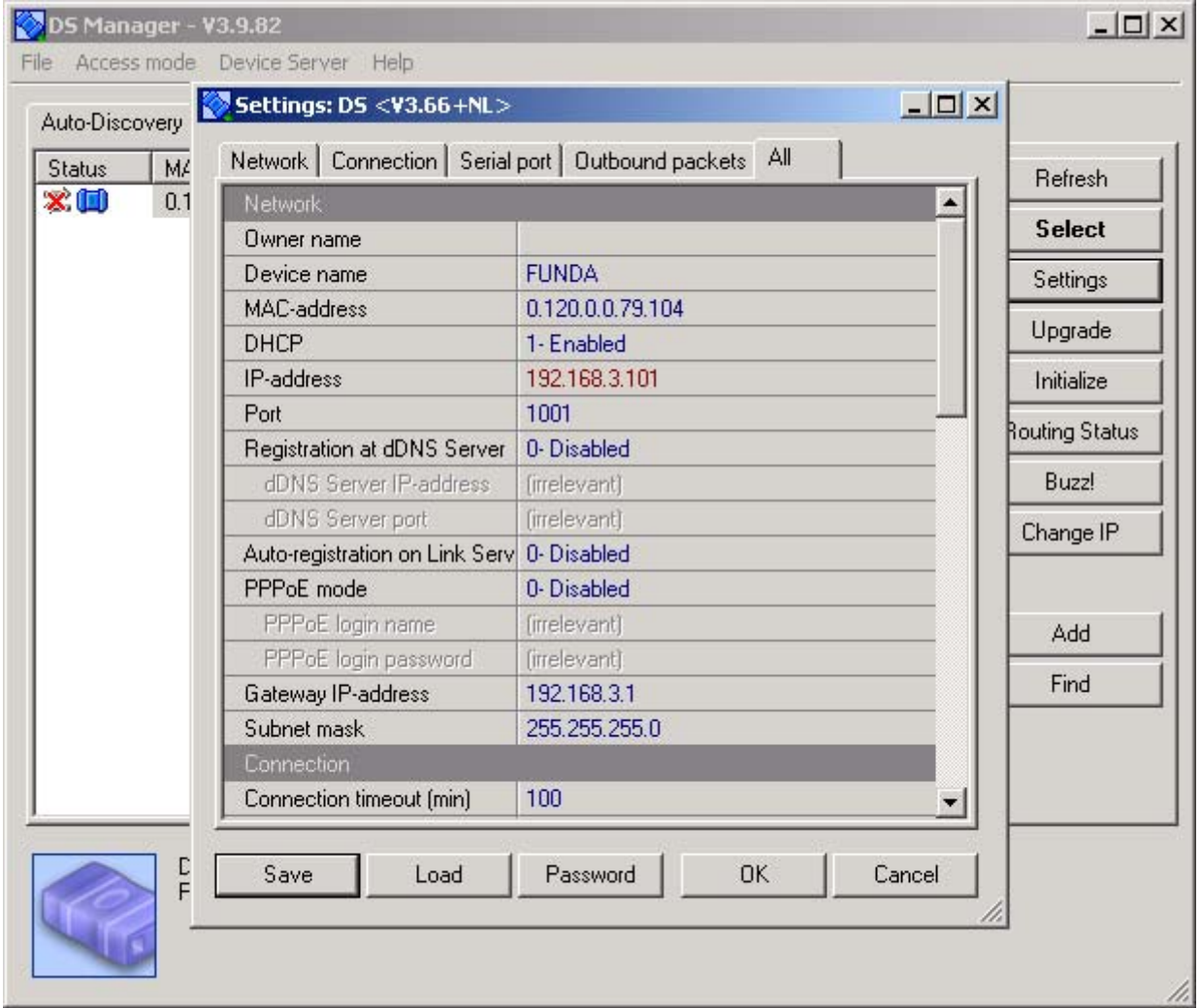
Şekil 35'da görülen ayarlar, Windows uygulamalarının sanal seri port programıyla arasındaki iletişim hızını gösteren ayarlardır. Bu ayarlar tamamen yazılımlar arasında olduğu için, fiziksel bağlantı hızını etkilemez. Windows programlarında sanal seri portun hızını ve iletişim özelliklerini tanımlar. Burada önemli olan, Şekil 34'de tanımlanan DTR ve RTS bilgilerinin windows uygulamasından alınarak Tibbo sunucusuna aktarılması için göndermeye hazır, almaya hazır bilgilerinin sanal seri port üzerinden aktarılması sağlanmış olur (Şekil 35).



Şekil 35- Window Uygulaması ile Sanal Seri Port Arasındaki İletişim Ayarları

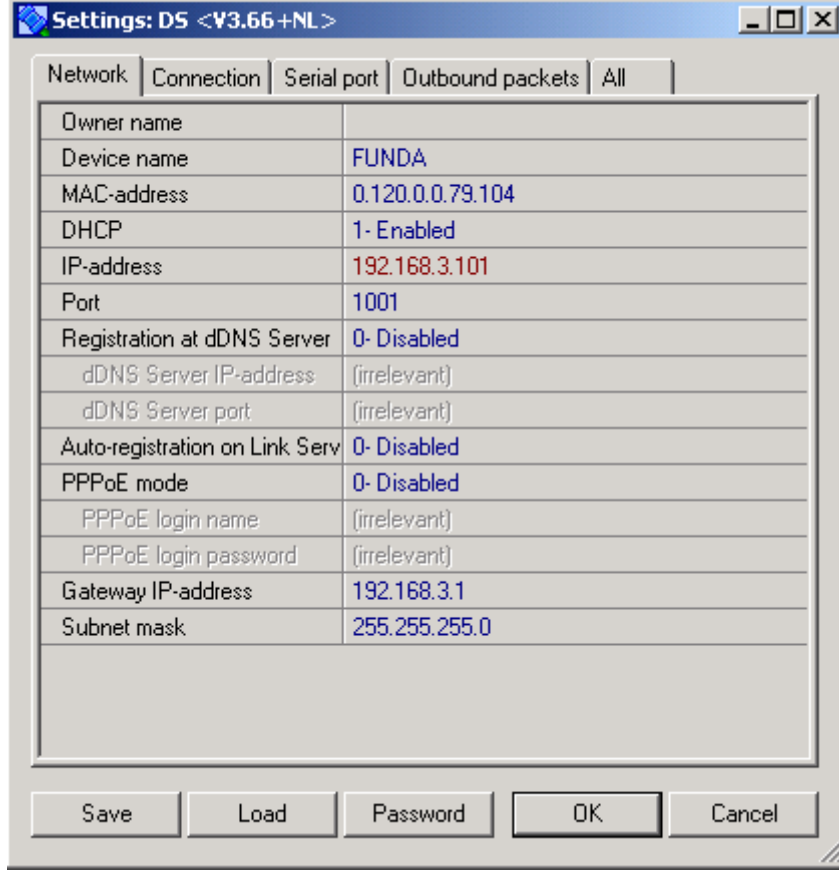
5.4.6.2 DSM - Sunucu Alet Yönetim Programı:

Sunucu yönetim programı Tibbo tarafından geliştirilen, ağ üzerine bağlı Tibbo sunucuları bulmak ve yönetmek amacıyla kullanılan bir programdır. Bu program ile ağa bağlı sunucuların adresleri, alıştırma modları ve diğer tüm ayarları değiştirilebileceği gibi, tibbo sunucuların yazılımları (firmware) da güncellenebilir veya değiştirilebilir. Ağa bağlı bir cihazın seçilmesi (Şekil 36).⁽¹³⁾



Şekil 36- Sunucu Yönetici Programda Ağa Bağlı Sunucunun Seçilmesi

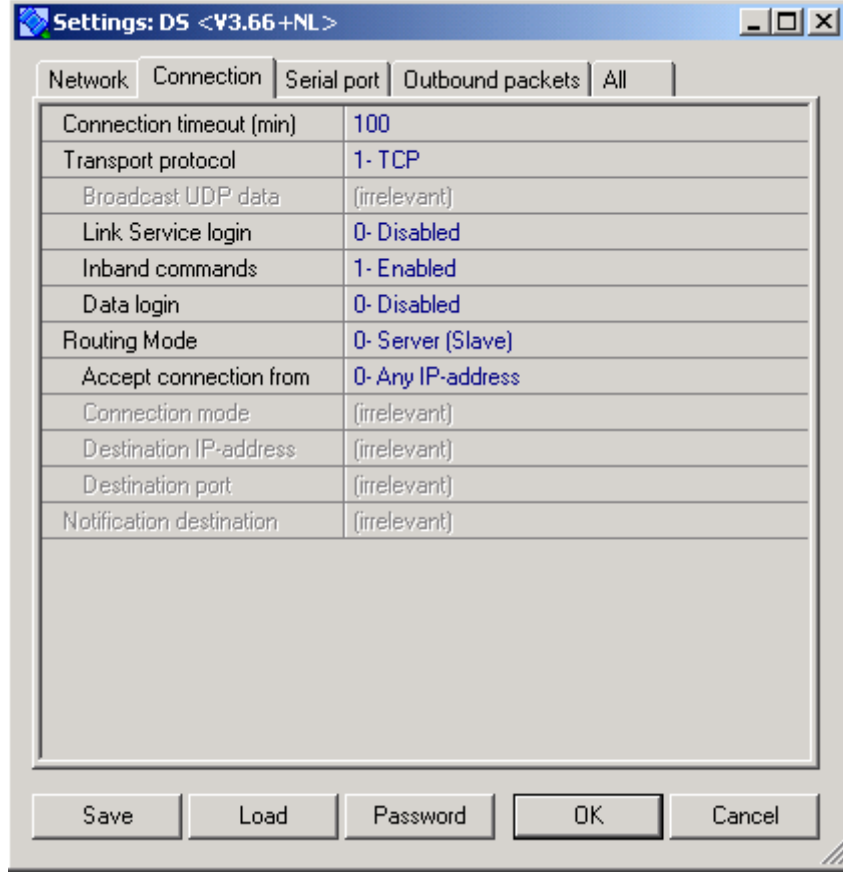
Tibbo Sunucu Modülü, sunucu yönetici program tarafından bulunduğundan ve yapılandırılmak istenen modül seçildikten sonra, cihaza bir ad verilir (Şekil 37). Bu ad cihazın görevi, yeri veya sahibi ile ilgili olabilir. Sadece kullanıcıya hatırlatıcı görevi vardır. İletişim protokolünde kullanılmaz. Bu ekranda cihazın sabit MAC adresi ve internet adresi görülmektedir. İnternet adresi elle veya otomatik olarak erişim noktası tarafından atanabilir. Burada Dynamic Host Configuration Protocol – Dinamik Konuk Yapılandırma Protokolü (DHCP) etkin hale getirilerek internet adresinin erişim noktası tarafından verilmesi sağlanmıştır.



Şekil 37- Sunucu Yönetici Programla Sunucunun Yapılandırılması

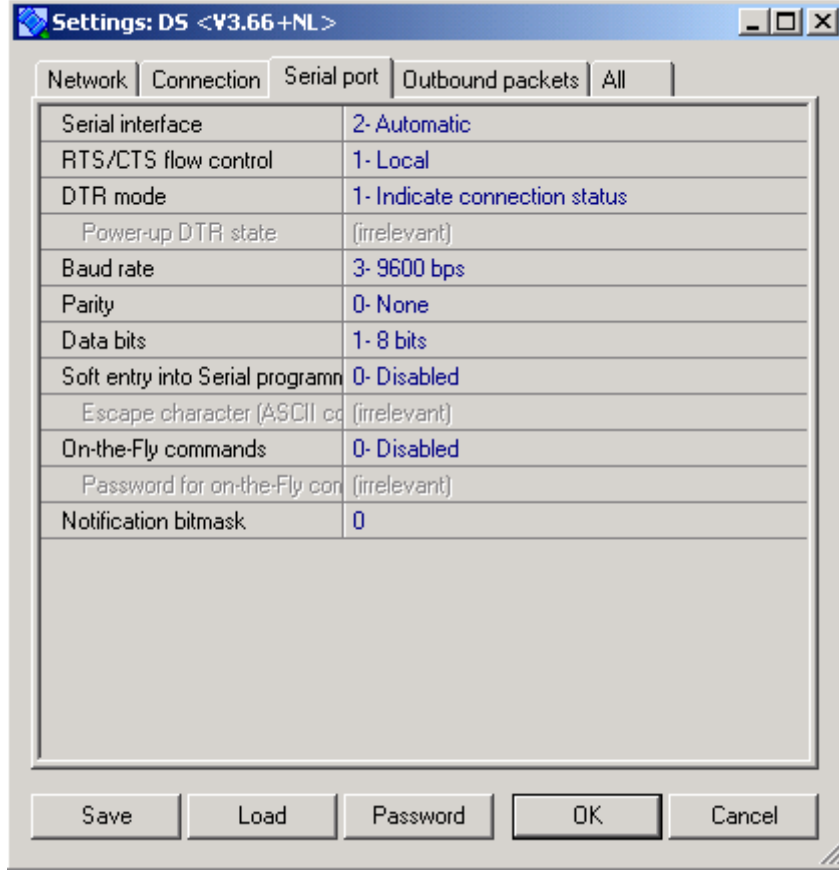
Tibbo sunucunun hangi protokole göre çalışacağı yapılandırma ekranında tanımlanır (Şekil 38). Burada önemli olan seçilen çalışma modunun, sanal seri port programında seçilen çalışma moduyla aynı olmasıdır (Şekil 33). Eğer farklı protokoller seçilirse sanal seri port programının gönderdiği paketler tibbo sunucu tarafından yorumlanamaz ve iletişim sağlanamaz. Yapılandırma ekranının bağlantı ayarları kısmında diğer önemli ayarlara bakacak olursak;

Erişim modu: Bu ayar tibbo cihazın sunucu olarak mı, yoksa sunucuya bağlanan bir cihaz olarak mı çalışacağını belirler. Herhangi bir bilgisayardan erişilerek ölçüm yapılabilmesi için, bu ayar sunucu olarak ayarlanmıştır. Bu ayarın hemen alt kısmındaki ayarlar, eğer sadece belirli IP adresi almış bir makinadan erişim yapılması istenirse ayarlanmalıdır. ⁽¹³⁾



Şekil 38- Sunucunun Çalışma Modunun Belirlenmesi

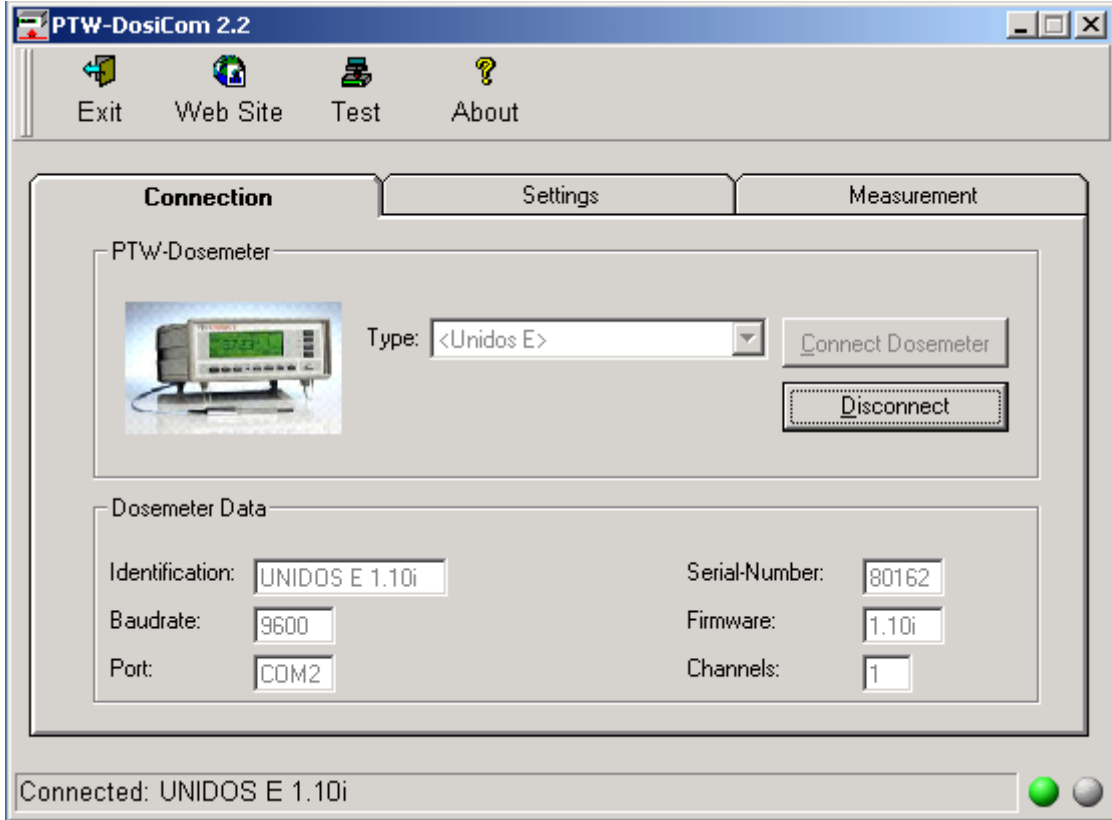
Tibbo Sunucu Modül'ün üzerinde bulunan fiziksel seri portun ayarları, Şekil 39'de görüldüğü şekilde yapılandırılır. Bu ayarlar elektrometrenin RS232 portu ayarları ile birebir örtüşmek zorundadır. Ancak bu şekilde elektrometre ile uygun bağlantı sağlanabilir. RTS/CTS ayarları bilgi göndermeye / almaya hazır olduğunu donanımın kontrol edip etmeyeceğini belirler. Seri bağlantı hızı ve bilgileri 9600bps, 8bit seçilmiştir.



Şekil 39- Sunucuya Bağlı Fiziksel Seri Portun Ayarlarının Yapılması

5.4.6.3 DOSICOM – Elektrometre Ölçüm / Kontrol Programı:

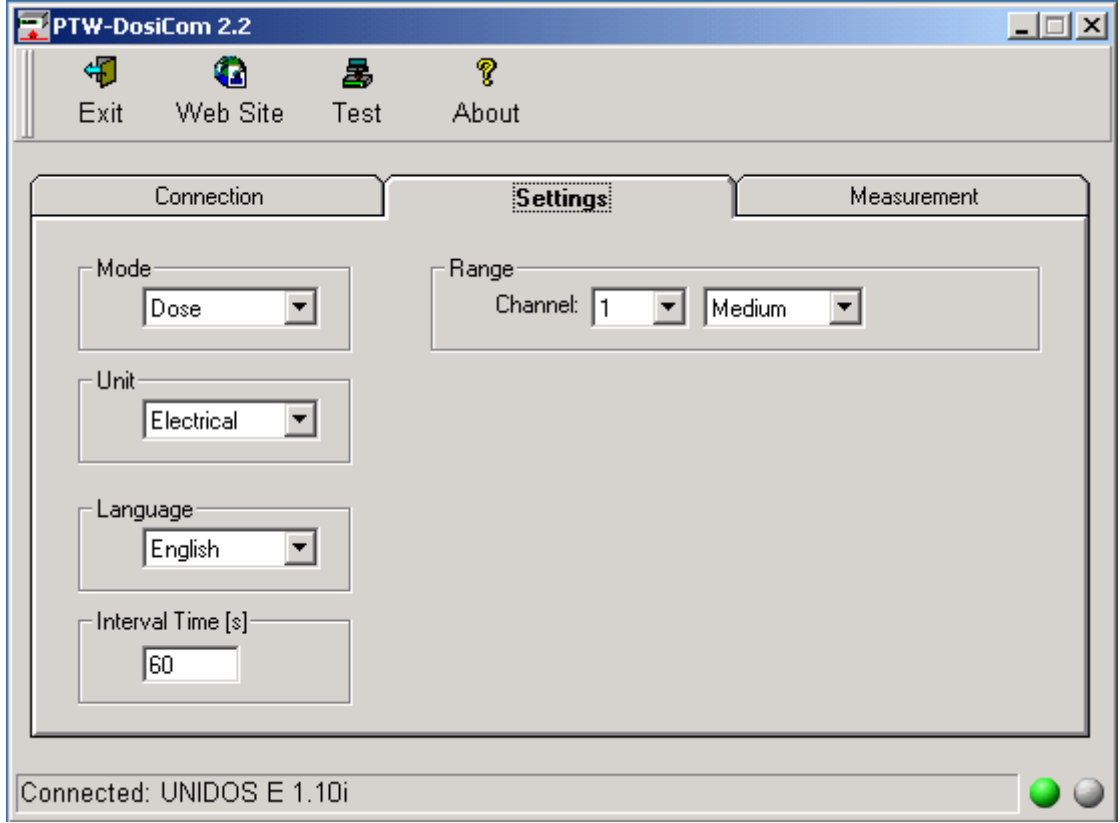
Dosicom, elektrometre ile seri haberleşmeyi bilgisayar tarafında yöneten programdır. Elektrometre firması tarafından, test ölçümleri ve bilgisayar ile elektrometre arasındaki seri haberleşmeyi kontrol amacıyla üretilmiştir.⁽¹⁷⁾ Program çalıştırıldıktan sonra ilk yapılması gereken elektrometreyle bağlantı kurulmasıdır. Bu için önce ekranda ilgili kısımdan bağlanılacak cihazın modeli seçilir. Daha sonra “bağlan” seçeneğine tıklanır (Şekil 40). Bu şekilde bağlantı sağlanmış olur. Bağlantı kurulduğunda ekranda elektrometrenin modeli, seri numarası, bağlantı hızı, bağlantı kurulan port, elektrometre yazılımının versiyonu ve toplam kanal sayısı bilgilerinin yanında elektrometrenin bir fotoğrafı görülür. En alt kısımda da bağlantının gerçekleştiğini belirten “UNIDOS E 1.10 i'ye bağlanıldı” yazısı çıkar. Bu şekilde bağlantı sağlanmış olunur. Daha sonra ölçüm için elektrometrenin ayarlarının yapılabildiği ekrana geçilir (Şekil 41).



Şekil 40- Elektrometre Ölçüm Programı Bağlantı Ekranı

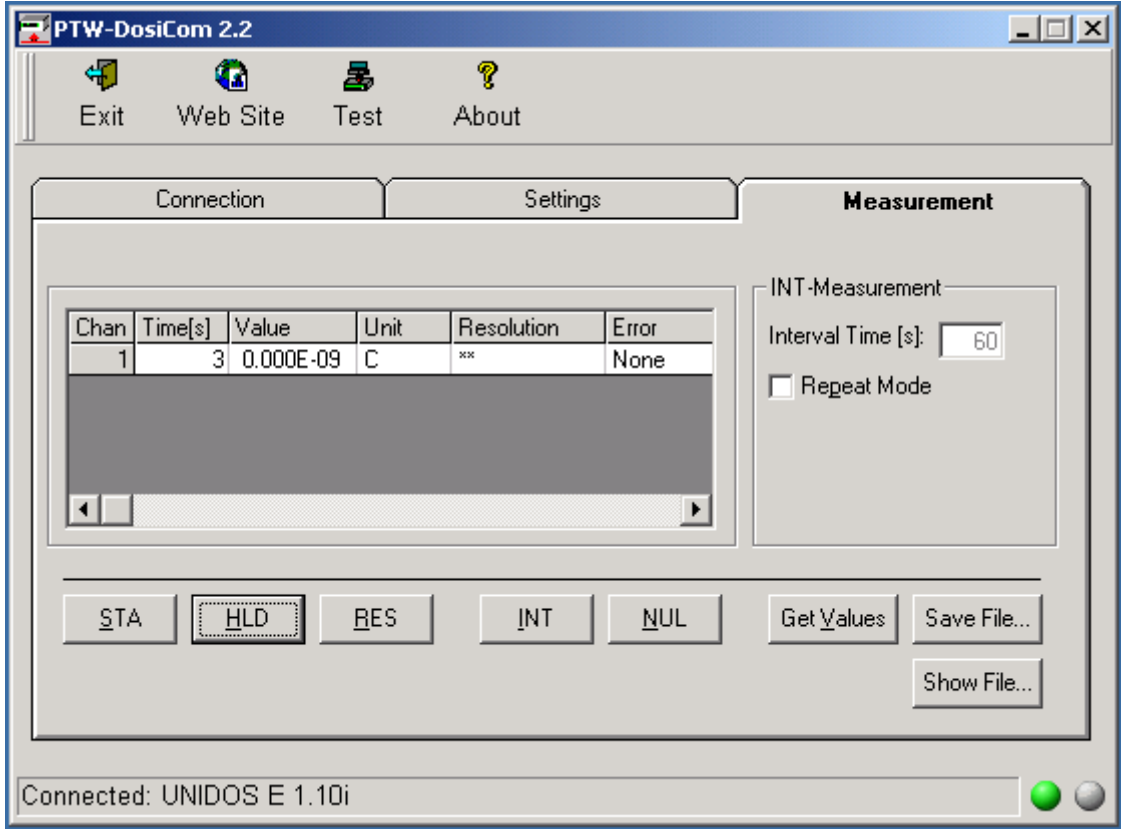
Ayarlar ekranında elektrometrenin doz veya doz hızı ölçümü yapacağını, ölçüm sonuçlarını vereceği birimin (cloumb veya gray), eğer sabit bir süre ölçüm yapılacaksa bu sürenin (sn cinsinden) ve kullanılan kanalın sıfırdan sonra kaç basamak olarak ölçüleceğinin ayarları yapılır. Bu ayarlar bilgisayar ekranında yapıldığı anda, yapılan ayara ilişkin komut seri porttan elektrometreye gönderilir. Bu şekilde elektrometredeki ayarlar uzaktan değiştirilmiş olur. Ayar ekranı ve ölçümler sırasında kullanılan ayarlar (Şekil 41).

Burada doz ölçümü oluşan potansiyel şarjın kümülatif değeri, doz hızı ölçümü de kutuplar arasındanki anlık akım değeridir.



Şekil 41- Elektrometre Ölçüm Programı Ayar Ekranı

Programın ölçüm ekranında, elektrometrenin ön panelinde bulunan tuşların özelliklerini yerine getiren ikonlar bulunmaktadır (Şekil 42). Burada her ölçüme başlamadan önce yapılan ve arka fondaki (background) radyasyonu sıfır kabul etmeyi sağlayan sıfırlama (NULL) işlemi yapılır. Bu işlem 60 sn sürmektedir ve işlem sırasında radyasyon kaynağı açık olmamalıdır. Sıfırlama işlemi bittikten sonra “RES” (reset) ikonuna tıklanarak elektrometre resetlenir. Daha sonra ölçüme başlamak için “STA” (start) ikonuna basılır. Ölçüm bittiğinde de “HLD” (hold) ikonuna tıklanarak ölçüm bilgisi alınır. İşlem cihaz resetlenerek tekrar edilebilir. Eğer belirli bir süre için ölçüm yapılacaksa, “INT” (interval) tuşu kullanılır. “INT” tuşuna basıldığında, cihaz ayar ekranında belirtilen süre kadar ölçüm yaparak otomatik olarak durur. Süre ile yapılan ölçüm birden fazla tekrarlanacaksa ekranın sağ kısmında bulunan alandaki tekrar modu üzerine tıklanarak aktif hale getirildikten sonra tekrarlama süresi girilir. Ölçüm başlatıldığında manuel olarak durdurana kadar, istenilen zaman aralıklarında süresi belirlenmiş ölçümleri tekrarlar ve ekranda gösterir. Ölçümler bittiğinde, ölçüm verileri saklama tuşuna tıklanarak düz metin formatında bilgisayar kaydedilir.⁽¹⁷⁾



Şekil 42- Elektrometre Ölçüm Programı Ölçüm ve Sonuç Ekranı

Elektrometre ölçüm programı ile elektrometre arasındaki iletişim, “UNIDOS-E” seri iletişim kitapçığında belirtilen komutlara göre yapılır. Programın elektrometreye bağlanmak için gönderdiği komutlar ve elektrometrenin cevabı gerçek zamanlı olarak sanal seri portu dinleyen bir program vasıtasıyla kaydedilmiştir (Tablo 2). Burada; dinleme, bilgisayar tarafında yapıldığı için TX bilgisayarın elektrometreye gönderdiği komutları, RX de elektrometrenin gönderdiği cevabı ifade eder.⁽¹⁸⁾

TX 50 54 57 0d 0a	PTW..
RX 55 4e 49 44 4f 53 20 45 20 31 2e 31 30 69 0d 0a	UNIDOS E 1.10i..
TX 50 54 57 0d 0a	PTW..
RX 55 4e 49 44 4f 53 20 45 20 31 2e 31 30 69 0d 0a	UNIDOS E 1.10i..
TX 50 54 57 0d 0a	PTW..
RX 55 4e 49 44 4f 53 20 45 20 31 2e 31 30 69 0d 0a	UNIDOS E 1.10i..
TX 4b 30 0d 0a	KO..
RX 4b 30 0d 0a	KO..
TX 49 0d 0a	L..
RX 49 30 30 36 30 0d 0a	I0060..
TX 4c 0d 0a	L..
RX 4c 45 0d 0a	LE..
TX 4d 0d 0a	M..
RX 4d 30 0d 0a	M0..
TX 55 0d 0a	U..
RX 55 52 0d 0a	UR..

TX 52 0d 0a	R..
RX 52 4d 0d 0a	RM..
TX 50 54 57 0d 0a	PTW..
RX 55 4e 49 44 4f 53 20 45 20 31 2e 31 30 69 0d 0a	UNIDOS E 1.10i..
TX 53 45 52 0d 0a	SER..
RX 53 45 52 30 38 30 31 36 32 0d 0a	SER080162..
TX 50 54 57 0d 0a	PTW..
RX 55 4e 49 44 4f 53 20 45 20 31 2e 31 30 69 0d 0a	UNIDOS E 1.10i..
TX 53 54 41 0d 0a	STA..
RX 53 54 41 0d 0a	STA..
TX 48 4c 44 0d 0a	HLD..
RX 48 4c 44 0d 0a	HLD..
TX 44 0d 0a	D..
RX 44 30 3b 20 20 20 38 2e 35 73 3b 30 3b 48 4c	D0; 8.5s;0;HL
44 3b 20 30 3b 20 20 2d 30 2e 30 45 2d 30 33 3b	D; 0; -0.0E-03;
32 3b 34 33 38 31 36 0d 0a	2;43816..
TX 44 55 0d 0a	DU..
RX 44 55 47 79 0d 0a	DUGy..

Tablo 2- Elektrometre ile Ölçüm Programı Arasındaki İletişim Trafiği Örneği

PTW, RS232 iletişimde belirlenen bu komutlar ile cihazın ölçüm modu, ölçüm birimi ve diğer tüm ölçüm ayarları değiştirilebilmekte, cihazın seri numarası, modeli ve ölçüm sonuçları alınabilmekte ve cihaz kumanda edilebilmektedir.⁽¹⁸⁾

5.5 Karşılaştırılacak Durumların Belirlenmesi ve Ölçümler:

5.5.1 Triaksiyel Kabloya Gelen Etkiler:

5.5.1.1 Johnson Gürültüsü:

Bu gürültü, termal gürültü olarak da adlandırılır. Isıl değişimlerin sistemin iç direncinde oluşturduğu gürültüdür. Tüm sistemlerde bir iç direnç olduğu için ısıya bağlı olarak ısı arttıkça artan bir gürültü bulunmaktadır.⁽¹⁹⁾

5.5.1.2 Gürültü Akımı:

Bu tip gürültü yüksek voltaj kaynaklarının neden olduğu, elektrostatik çift oluşturma ve vibrasyon etkisi nedeniyle kablo üzerinde oluşan gürültüdür.⁽¹⁹⁾

5.5.1.3 Termoelektrik Elektro Manyetik Kuvvet Etkisi:

Soketler gibi birleşim noktalarında, iki farklı metalin birleşmesinden ve iki metal arasındaki ısı farkından kaynaklanan küçük voltajlardır. Ölçüm sırasında uzatma kablosunun farklı bir ortamdan getirilip kullanılması bu etkiyi oluşturabilir.⁽¹⁹⁾

5.5.1.4 Elektrostatik Dipol Etkisi:

Bu etki kablonun yanına, üzerinde elektrik akımı olan bir başka kablonun yaklaştırılmasıyla olur. Duvar içinden veya zeminden geçen bir besleme kablosu triaksiyel kabloda bu etkiyi yaparak ölçüm sonuçlarını etkiler. ⁽¹⁹⁾

5.5.1.5 Piezoelektrik Etkiler:

Kabloya dışarıdan uygulanan basınç veya gerilme kuvveti etkisiyle oluşabilir. Bu etkinin boyutu diğerlerine oranla çok azdır. Bunun nedeni triaksiyel kabloda kullanılan yalıtım malzemesinin geliştirilerek bu etkinin azaltılmasındandır. ⁽¹⁹⁾

5.5.1.6 Tribboelektrik Etkiler:

Kabloya uygulanan sürtünme etkisiyle oluşan bir etkidir. Kablonun silinmesi veya yerde sürüklenmesi sonucu oluşabilir. Bu etki kalıcı olmamakla birlikte önemsenmeyecek kadar azdır. ⁽¹⁹⁾

Yukarıda görülen etkilerin bir kaçı için ölçümler yapılarak etkilerin boyutu belirlenmeye çalışılmıştır:

5.5.2 Ölçümler:

5.5.2.1 Stronsiyum-90 Test Kaynağıyla Yapılan Ölçümler:

Bu ölçümlerin yapılması 3 gün sürmüştür. Isıyı sabit tutmak amacıyla ölçümler ısısı kontrol altında olan bir ortamda yapılmış, ölçümler sırasında ortam ısısı ve basınç değerleri izlenmiştir. Basınç ve ısıda oluşan değişimler çok küçük olduğu için, etkileri ihmal edilmiştir (

Tablo 3).

Düzenek 1:

Elektrometre, uzatma kablosu (30m), iyon odası klasik şekilde birbirine bağlanmıştır. Uzatma kablosu tamamen açılmıştır. Stronsiyum-90 test kaynağıyla, referans ölçüm olarak aşağıdaki ölçümler yapılmıştır (Tablo 4).

Ölçüm Süresi	1200 sn
Ölçüm Sırasındaki Basınç	1006.9 mbar – 1008.3 mbar
Ölçüm Sırasındaki Sıcaklık	24.5 - 26.7 °C (Ort:25.6 °C)
Ölçüm Sayısı	10

Tablo 3- Stronsiyum-90 Test Kaynağıyla Yapılan Ölçüm ve Ortam Bilgileri

S. No	Ölçüm (nC)
1	27.76
2	27.76
3	27.75
4	27.76
5	27.76
6	27.75
7	27.75
8	27.75
9	27.76
10	27.75
Ortalama	27.755

Tablo 4- Düzenek 1 İçin Ölçüm Sonuçları

Karşılaştırılan Sistem 1:

Uzatma kablosu 30 cm çapında tamamen sarılmıştır. 1200 sn süreli 5 Ölçüm yapılmıştır (Tablo 5).

S. No	Ölçüm (nC)
1	27.74
2	27.73
3	27.74
4	27.74

5	27.74
Ortalama	27.738

Tablo 5- Karşılaştırılan Sistem 1 İçin Ölçüm Sonuçları

1. sisteme oranla toplam hata %0.06 olmaktadır.

Karşılaştırılan Sistem 2:

Sarılı durumdaki kabloya 8 W (7.5 V DC voltaj uygulanmıştır) gücündeki bir elektromıknatis yaklaştırılarak 1200 sn süreli 5 ölçüm alınmıştır (

Tablo 6) .

S. No	Ölçüm (nC)
1	26.91
2	26.92
3	26.90
4	26.91
5	26.91
Ortalama	26.91

Tablo 6- Karşılaştırılan Sistem 2 İçin Ölçüm Sonuçları

Referans ölçümlere (Düzenek 1) oranla manyetik alan etkisiyle oluşan toplam hata yaklaşık %3 olmaktadır.

Karşılaştırılan Sistem 3:

30 cm çapında tamamen sarılı durumdaki kablo su ile dolu kova içinde 15 °C sıcaklığa kadar soğutulmuştur. Ölçüm sırasında (1200 sn boyunca) su sıcaklığının değişmediği varsayılmıştır. Her ölçüm arasında suyun sıcaklığı kontrol edilerek düzeltilmiştir. 1200 sn süreli 5 ölçümün sonuçları aşağıdadır (Tablo 7).

S. No	Ölçüm(nC)
1	26.93
2	26.94
3	26.94
4	26.94
5	26.93
Ortalama	26.936

Tablo 7- Karşılaştırılan Sistem 3 İçin Ölçüm Sonuçları

Kablonun tam sarılı olmasından kaynaklı hata %0.06 olduğu için ihmal edilirse referans ölçümüyle karşılaştırma yapılabilir. Referans ölçüme göre, sıcaklık değişiminden gelen toplam hata %3 olmaktadır.

Karşılaştırılan Sistem 4:

30cm çapında tamamen sarılı durumdaki kablo su ile dolu kova içinde 35°C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Ölçüm sırasında (1200sn boyunca) su sıcaklığının değişimi ihmal edilmiştir. Her ölçüm arasında suyun sıcaklığı kontrol edilerek düzeltilmiştir. 1200sn süreli 5 ölçümün sonuçları aşağıdadır (Tablo 8).

S. No	Ölçüm (nC)
1	28.31
2	28.30
3	28.28
4	28.28
5	28.27
Ortalama	28.27

Tablo 8- Karşılaştırılan Sistem 4 İçin Ölçüm Sonuçları

Kablonun sarılı olmasından kaynaklı fark çok küçük olduğundan ihmal edilerek, referans ölçümle yapılan karşılaştırmada, sıcaklık değişiminden gelen toplam hata %2 olmaktadır.

Düzenek 2:

Elektrometre uzatma kablosu kullanılmadan iyon odasına bağlanmıştır. Elektrometrenin seri portuna geliştirilen sistem bağlanmış ölçüm bilgisayar kullanılarak kablosuz olarak yapılmıştır (

Tablo 9).

S. No	Ölçüm (nC) (Elektrometrede Okunan Değer)	Ölçüm (nC) (PC ekranında Okunan Değer)
1	27.83	27.83
2	27.82	27.82
3	27.82	27.82
4	27.82	27.82
5	27.82	27.82
6	27.82	27.82
7	27.82	27.82
8	27.82	27.82
9	27.82	27.82
10	27.82	27.82
Ortalama	27.821	27.821

Tablo 9- Düzenek 2 için Ölçüm Sonuçları

5.5.2.2 Lineer Hızlandırıcıyla Yapılan Ölçümler:

Lineer Hızlandırıcıyla yapılan ölçümler, aynı gün içinde yapılmıştır. Ölçüm sırasında basınç ve sıcaklık izlenmiştir. Basınç ve sıcaklıkta oluşan fark çok küçük olduğu için etkileri ihmal edilmiştir (Tablo 10).

Düzenek 3:

Elektrometre doğrudan iyon odasına bağlanmıştır ve tedavi odası içine yerleştirilmiştir. İyon odası, SSD 100 cm de, katı fantom içine 5 cm derinliğe yerleştirilmiştir. Elektrometreye geliştirilen sistem bağlanmıştır. Kontrol hızlandırıcı konsolun yanında kurulan bilgisayar ile yapılmaktadır. Düzeneğe 6 MV foton enerjisinde 100 MU ışın 10 kez verilmiştir (Tablo 11).

Verilen Işın Miktarı	100 MU
Ölçüm Sırasındaki Basınç	1010 -1011.6 mbar
Ölçüm Sırasındaki Sıcaklık	16.0 -18.4 °C (Ort:17.2 °C)
Ölçüm Sayısı	10

Tablo 10- Lineer Hızlandırıcı ile Yapılan Ölçüm ve Ortam Bilgileri

S. No	Ölçüm (cGy) (Elektrometrede Okunan Değer)	Ölçüm (cGy) (PC ekranında Okunan Değer)
1	881.3	881.3
2	881.0	881.0
3	881.2	881.2
4	881.3	881.3
5	881.3	881.3
6	881.1	881.1
7	881.1	881.1
8	881.3	881.3
9	881.2	881.2
10	881.2	881.2
Ortalama	881.2	881.2

Tablo 11- Düzenek 3 için Ölçüm Sonuçları

Düzenek 4:

Elektrometre, uzatma kablosu ile iyon odasına bağlanmıştır ve tedavi odası içine yerleştirilmiştir. İyon odası SSD 100 cm de, katı fantom içine 5 cm derinliğine yerleştirilmiştir. Elektrometreye geliştirilen sistem bağlanmıştır. Kontrol hızlandırıcı konsolun yanında kurulan bilgisayar ile yapılmaktadır. Düzeneğe 6 MV foton enerjisinde 100 MU ışın 10 kez verilmiştir (Tablo 12).

S. No	Ölçüm (cGy) (Elektrometrede Okunan Değer)	Ölçüm (cGy) (PC ekranında Okunan Değer)
1	872.8	872.8
2	872.6	872.6
3	872.7	872.7
4	872.9	872.9
5	872.8	872.8
6	872.8	872.8
7	872.7	872.7
8	872.7	872.7
9	872.8	872.8
10	872.7	872.7
Ortalama	872.75	872.75

Tablo 12- Düzenek 4 için Ölçüm Sonuçları

Düzenek 5:

Elektrometre, uzatma kablosu yardımıyla iyon odasına bağlanmıştır. Elektrometre oda dışındadır. İyon odası SSD 100 cm de, katı fantom içine 5 cm derinliğine yerleştirilmiştir. Düzeneğe 6 MV foton enerjisinde 100 MU ışın 10 kez verilmiştir (Tablo 13).

S. No	Ölçüm (cGy) (Elektrometrede Okunan Değer)
1	873.0
2	872.9
3	872.7
4	872.8
5	872.8
6	873.0
7	872.7
8	872.6
9	872.8
10	872.9
Ortalama	872.82

Tablo 13- Düzenek 5 İçin Ölçüm Sonuçları

6 ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE BULGULAR:

Stronsiyum-90 test kaynağıyla, gerek uzatma kablolu gerek uzatma kablosuz yapılan ölçümlerin çok stabil olduğu görülmektedir. Bu da her iki sistemin de ölçüm kararlılığının ve ölçüm hassasiyetinin iyi olduğunu gösterir. Düzenek 1 ile Düzenek 2 ölçüm sonuçları arasında bulunan %0.2 lik fark kablo empendansının kablo kullanılmayan sistemde, kablo kullanılan sisteme oranla çok azalmasından kaynaklanmıştır ve beklenen bir sonuçtur. Ölçümlerde kullanılan elektrometre uzatma kablosuyla kalibre edildiği için Düzenek 1’de bulunan ölçüm değerleri gerçek ölçüm değerleridir.

Düzenek 2'de elektrometre okumaları ile bilgisayar ekranındaki değerlerin aynı olması, geliştirilen kablosuz sistemin hata yapmadığını ispatlamıştır.

Triaksiyel kablonun dış etkenlerden etkilenme ölçüsünü bulmak için yapılan karşılaştırma ölçümleri, çok olağan dışı koşullarda bile ölçümün ancak %3 lük bir sapma yaptığını göstermektedir. Normal kullanım şartlarında kablonun adı geçen dış etkilere etkilenmesi ihmal edilecek kadar küçüktür.

Lineer hızlandırıcı ile yapılan ölçümlerde, elektrometrenin oda içinde kaldığı ve radyasyona maruz kaldığı durumlarda, ölçümün nasıl etkileneceğini belirlemek amaçlanmıştır. Düzenek 4 ile Düzenek 5'de elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır. Tamamen aynı empedansa sahip olan bu iki düzende tek fark elektrometrenin oda içinde ve dışında olmasıdır. Oda içindeki sistem geliştirilen sistemle kontrol edilmektedir. Ölçüm sonuçlarının birbirinin aynısı çıkması dolayısıyla, elektrometrenin oda içinde de güvenle kullanılabilmesi görülmüştür.

Düzenek 3'deki sistem klasik sistem yerine kullanılmasını önerdiğimiz sistemdir. Bu sistem de uzatma kablosu yoktur. Ölçüm sonuçları stabildir. Sistem düzgün çalışmaktadır. Eğer elektrometrenin kalibrasyonu uzatma kablosu olmadan yapılırsa, bu düzenek referans ölçümlerinin yanında gerçek ölçümlerde de kullanılabilir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER:

Çalışmanın birinci amacı olan, anlık verilerin kablosuz olarak oda dışına taşınması ve elektrometrenin bilgisayarla kontrol edilmesi gerçekleştirilmiştir. Gerek Stronsiyum-90 test kaynağıyla, gerekse lineer hızlandırıcıyla, klinikte yapılan ölçümlerde sistemin stabil olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu sistemde, verilerin bilgisayara kaydı da yapılabilmektedir. Sistemin gerçek dozimetride kullanılabilmesi için kullanılan elektrometrenin kalibrasyonunun uzatma kablosu olmadan, sadece elektrometre ve iyon odasıyla yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

Yeni sistem, kablo döşenmesini gerektirmediği ve standart bir bilgisayar ile kullanıldığı için büyük bir kurulum kolaylığı getirmektedir. Kablo ezilmeleri, kopmaları gibi korkulan risklerin hiç biri bu sistemde mevcut değildir.

Dozimetride kullanılan triaksiyel kablonun ısı değişimi, elektromanyetik ve elektrik alandan etkilendiği ölçümlerle gözlemlenmiştir. Bu etkiler geliştirilen yeni sistemi etkilememektedir. Kablo kullanılarak yapılan ölçümlerde, etkilerin azaltılarak daha doğruya yakın ölçümler yapabilmek için, mümkün olduğunca kısa ve kaliteli triaksiyel uzatma kablosu kullanılmalıdır.⁽²⁰⁾ Ölçüm sırasında gereksiz tüm elektrikli aletler kapatılmalıdır. Kablo ölçüm ortamında bekletilmeli, kablonun birbiri üstüne binmesi ve halka yapması engellenmeli, darbelerden korunmalıdır. Ölçüm sırasında kabloya paralel ve yakınında elektrik kablosu olmamasına dikkat edilmelidir. Bunun dışında, dış etmenlerin normal koşullarda ihmal edilecek kadar küçük bir etkiye neden olabileceği anlaşılmıştır. Kabloların zamanla ısı etkiler, toplam radyasyon dozu, nem, ozon, mekanik etkiler hatta kimyasalların etkileriyle yaşlandığı ve bunun ölçüm sonuçlarını zaman içinde etkileyebileceği unutulmamalıdır.⁽²¹⁾

Ek kullanım alanları ve geliştirilebilirlik:

RF sinyallerin manyetik alandan etkilenmediği kabulüyle, geliştirilen sistem bu güne kadar sadece film ile ölçüm yapılabilen yoğun manyetik alanın kullanıldığı deneylerde de ölçüm yapmayı imkanı hale getirir.

Çok kanallı elektrometreler, su fantomu motor kontrol üniteleri, kalite kontrol için kullanılan iki boyutlu matris sistemler, sistemde yapılacak küçük eklentilerle geliştirdiğimiz sisteme entegre edilebilir.

Sisteme entegre bir elektrometre tasarlanıp, lineer hızlandırıcının tepsi kısmına takılabilecek kompakt bir sistem geliştirilerek günlük dozimetrimin, değişik gantry açılarında, çok hızlı ve kolay bir şekilde yapılması mümkün olacaktır.

8 KAYNAKLAR:

1. International, Atomic Energy Agency, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water (IAEA TRS-398), 2006, 93, 113
2. J Izewska, G.Rajan, P.Andreo, J.P. Seuntjens, E.B. Podgorsak, International, Atomic Energy Agency ,Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, 2005, 71-98, 301-352
3. Faiz M. Khan, The Physics of Radiation Therapy,3rd Ed. Lippincott, 2003,78-93
4. http://www.ptw.de/waterproof_farmer_chamber0.html?&cld=3455 , 1, 2
5. Siemens AG, Medical Solutions, Primus Basic Functional Descriptions, 2003, 15-45
6. Dallas Semiconductors, Fundamentals of RS232 Serial Communications,1999
7. Texas Instruments, Comparing Bus Solutions,2004
8. William Buchanan, Applied Data Communications and Networks, Chapman & Hall, 1996, 55-64, 93-96, 149-173
9. Kürşat Çağiltay, Herkes İçin İnternet, 3. Bölüm, 1994, 1-3
10. Scanditronix/Wellhüfer,Radioactive Stability Check Device(RSCD) User's Guide, 2002, 5-20
11. PTW FREIBURG, Instuction Manual RS232 Interface of UNIDOS E, Spec Sheet, 2001, 14-20
12. PTW FREIBURG, Unidos E Universal Dosemeter Catalog, 2007, 1, 2

13. Tibbo Technology Inc., Tibbo Ethernet-to-Serial Devices: Hardware, Firmware, PC software, 2007, 23-31, 237-364
14. Atmel, C51 Microcontrollers Application Note, 2002, 2,11-14
15. Adam Messer, Ph.D, Wireless Networking in the Developing World, Limehouse Book Sprint Team, 2006, 19-23, 32-35, 53
16. AvaLAN Wireless Systems Inc., Indoor Path Loss (AvaLAN-AN001), 2005, 2-5
17. PTW Freiburg, User Manual, Dositom, 2005, 2-11
18. PTW Freiburg, Instruction Manual, RS232 Interface of UNIDOS-E, 1999, 4-19
19. Dale Cigoy, Keithley Instruments, Inc., Configuring Your Data Acquisition or Test and Measurement System for Maximum Noise Immunity,1999, 2-9
20. International, Atomic Energy Agency, Pilot study on the management of ageing of instrumentation and control cables(IAEA-TECDOC-932),1995, 9
21. Falk Korndörfer,IHP Inc, Noise Measurement, 2007,15