

## KOAKSİYEL KABLolar

*Erse Kablo Kalite Kontrol & Laboratuvar Sorumlusu, Semih Gençel*

**Günümüzde ortak topoloji kullanarak iletişim kurabilen bilgisayar ve telekomünikasyon cihazları bir ihtiyaç haline gelmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte değişik biçimlerdeki veri dosyalarının taşınmasını sağlayabilmek için gelişmiş veri iletim ortamlarına ihtiyaç duyulmuştur.**

Koaksiyel kablo tasarımı, bant genişliği kısıtlamalarından kaynaklanan sinyal taşıma sorunlarını aşmak için 19. yüzyılın sonlarında ünlü matematikçi ve aynı zamanda elektrik mühendisi olan Oliver Heaviside tarafından yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca koaksiyel kablo; elektromanyetik kirliliğin yoğun olduğu ortamlarda düşük güçte sinyalleri iletmek için geliştirilmiş bir kablodur. Gelişmeler sonrasında, ortak iletim hattı tasarımlarının en temel ve yaygın yapısı olarak günümüze gelmiştir.

Koaksiyel (coaxial) ismi, merkez iletken etrafında oluşan eş merkezli tasarımı (*bnz*: kablo yapısı) sebebiyle ortak (eş) eksenli anlamını taşıyan “Common axial” kelimelerinin kısaltılmasından meydana gelmektedir. Genel olarak empedans ve RG tipine göre sınıflandırılmaktadır. RG tanımı “Radio Frequency Government” kelimelerinin kısaltılmasından oluşmaktadır. Genel olarak, bir koaksiyel kablo aşağıdaki kodlamalarda adlandırılmaktadır:



- HD** : High Definition (Yüksek Çözünürlüklü)
- RG** : Radio Frequency Guide
- 6/U-6** : Ünliversal özellik tanımlaması
- Cu/Cu** : İç/dış malzeme cinsi
- Trishield** : Üç korumaya sahip ekran yapısı
- Class A++** : Ekran etkinlik derecesi
- HFFR** : Halojensiz ve alev geciktirici özellikte malzeme (**H**alogen **F**ree **F**lame **R**etardant)

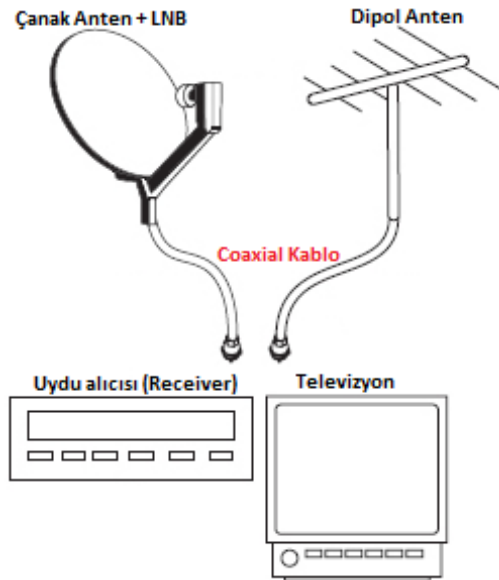
## Kablo Yapısı :

- 1. Merkez iletken:** Kablonun en iç kısmında merkez konumda bulunmaktadır. Mono ya da bükülü bakırdan meydana gelen, bakır (CU), bakır kaplı çelik (CCS – Copper Clad Steel) ya da gümüş kaplı bakır (SCC – Silver Clad Copper) bileşiminden uygun ölçülerde yapılabilmektedir.
- 2. İzolasyon:** Dielektrik sabiti yüksek olan solid polietilen (PE) ya da hücreli polietilen malzemeden yapılmaktadır. Hücreli polietilenden yapılması durumunda yalıtım üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak merkez iletken etrafında ince bir zar tabakası, sonrasında azot gazı ile köpürtülmüş (hücreleştirilmiş) polietilen malzeme bulunur. En dış tabaka olarak ince bir zar daha uygulanarak yalıtım işlemi tamamlanır. Yapılan işlem SFS (Skin Foam Skin) olarak tanımlanmaktadır.
- 3. Ekran:** Kablo merkez iletkenini dışardan gelebilecek elektromanyetik alan etkilerine karşı koruma görevi bulunmaktadır. Kablo yapısına göre metalik bant ve/veya örgü tellerinden oluşmaktadır. Malzemesi; bakır (CU), kalay kaplı bakır (CuSn), alüminyum (Al) veya gümüş kaplı bakır (SCC) bileşimlerinden oluşabilmektedir.
- 4. Dış kılıf:** Koaksiyel kablolarda elektriksel performanstan ziyade mekanik olarak koruma görevi üstlenmektedir. Kullanım yerine ve yapı malzemeleri yönetmeliğine uygun olarak seçilir. Kullanılan malzemeler genel olarak PVC, HFFR (LSZH - LS0H) veya PE'dir.

## Kullanım Alanları :

Koaksiyel kablolar yüksek frekanslı sinyallerin iletiminde kullanılan kablo türüdür. Genel olarak; CATV, MATV, SMATV, CCTV ve geniş bantlı dijital iletişim sistemlerinde bağlantı kablosu olarak kullanılmaktadır.

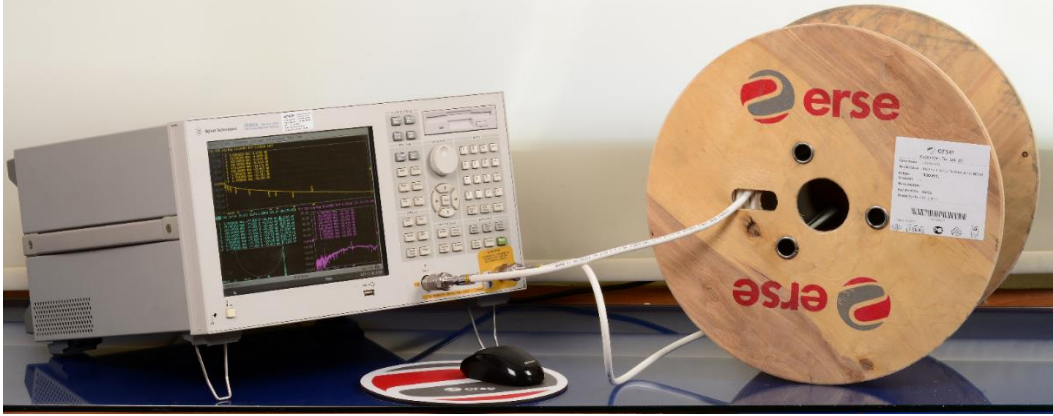
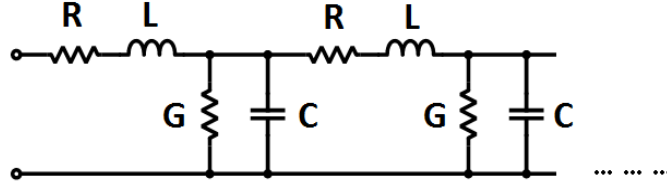
Koaksiyel kablolar, günümüzde en yaygın olarak uydu sinyallerini "Receiver" olarak adlandırılan uydu alıcılarına taşımakta kullanılmaktadır. Uydulardan yayınlanan RF sinyalleri 10,7 ile 12,75 GHz aralığında yeryüzüne ulaşmaktadır. Gelen sinyaller çanak anten vasıtasıyla toplanarak Low Noise Block downconverter (LNB) aracılığıyla 950 MHz ile 2150 MHz aralığındaki banda indirgenerek koaksiyel kablolar üzerinden düşük kayıplar ile Receiver'a iletilmektedir.



VF ve RF sinyallerinin taşınabilmesi için cihazlar ve kablolar arasında muazzam bir uyum olması gerektiğinden dolayı kablolar üzerindeki elektriksel özelliklerin eksiksiz karşılanması yüksek önem arz etmektedir.

## ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

Tipik bir koaksiyel kablunun eşdeğer elektrik devresinin şematik gösterimi aşağıdaki gibidir.



**Resim 1:** Network Analyzer ile Koaksiyel Kablo Testi

Elektriksel büyüklükleri hesaplamak için bazı değerleri belirtmek gerekir.

**R** : Birim uzunluktaki seri direnç değeridir. Birimi ohm/metre ( $\Omega/m$ )'dir. İletkenlerin birim uzunluktaki dirençleri alçak frekanslarda hemen hemen sıfır kabul edilebilir. Yüksek frekanslarda ise cidar etkisi ile iletken kesit alanının azalmasına bağlı olarak artma göstermektedir.

**G** : Birim uzunluk için paralel (Şönt) iletkenlik birimi Siemens/metre (S/m)'dir. Yalıtkan malzeme özelliğine (PE) bağlı olarak çok küçük olduğundan sıfır kabul edilebilir.

**L - İndüktans** : Birim uzunluktaki seri indüktans değeridir. Birimi (H/m) Henry/metre'dir. Koaksiyel kablolarda aşağıdaki formül ile hesap edilir. Standart  $75 \Omega$  koaksiyel kablolarda ideal indüktans 0,290 - 0,310 mH/km'dir

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right) = \frac{1,256 \cdot 10^{-6}}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

**$\mu$  - Manyetik geçirgenlik** : Bağlı manyetik geçirgenlik ile boşluktaki manyetik geçirgenliğin çarpımına eşittir ve yalıtkan malzemelerde bağlı manyetik geçirgenlik 1'e çok yakın olduğundan;

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cong 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2} \text{ olarak kullanılır.}$$

**d** : Merkez iletken mm olarak çapı

**D** : Yalıtımın mm olarak çapı

**C - Kapasite** : Yalıtkan malzemenin dielektrik sabitine bağlı olarak elektrik enerjisini depolayabilme kabiliyetidir. Birim uzunluk için paralel (şönt) kapasitans birimidir. Birimi Farad/metre (F/m)'dir. Koaksiyel kablolarla silindirik kondansatör formülü ile aşağıdaki gibi hesaplanır. SFS yalıtımlı standart 75 Ω koaksiyel kablolarla ideal kapasitans 53±2 nF/km'dir.

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon_r}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

$\epsilon$  : Yalıtkan malzemenin dielektrik sabitidir. Bağlı dielektrik sabiti ile boşluktaki dielektrik sabitin çarpımıyla elde edilmektedir.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$\epsilon_0$ ; Boşluktaki geçirgenlik 8,854\*10<sup>-12</sup> F/m' dir.

$\epsilon_r$  ; Bağlı dielektrik sabitinin kullanılan malzemelere göre değerleri aşağıdaki gibidir.

Malzeme	$\epsilon_r$
Hava	1
PE	2,28
Hücreli PE (SFS)	1,40 – 1,50*

\*Hücreli PE'de dielektrik sabiti köpürme oranına bağlı olarak değişim gösterir.

**Z<sub>0</sub> - Empedans** : Alıcı ve verici cihaz arasında iletimi sağlayacak olan kablolar her iki cihaz için de belirtilen toleranslar dahilinde empedans değerini karşılamak zorundadır. RF sinyallerinde kayıplara/bozulmalara neden olan olumsuzlukların başında empedans uyumsuzlukları gelmektedir. Uyumsuz kablo seçimi veya kalitesiz kabloların yol açtığı sinyal kayıpları, görüntünün alınamamasına ya da görüntü kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Tipik bir koaksiyel kablo da empedans aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{\frac{\mu \ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2\pi}}{\frac{2\pi \cdot \epsilon}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

Yukarıdaki formülü basite indirgeyecek olursak;

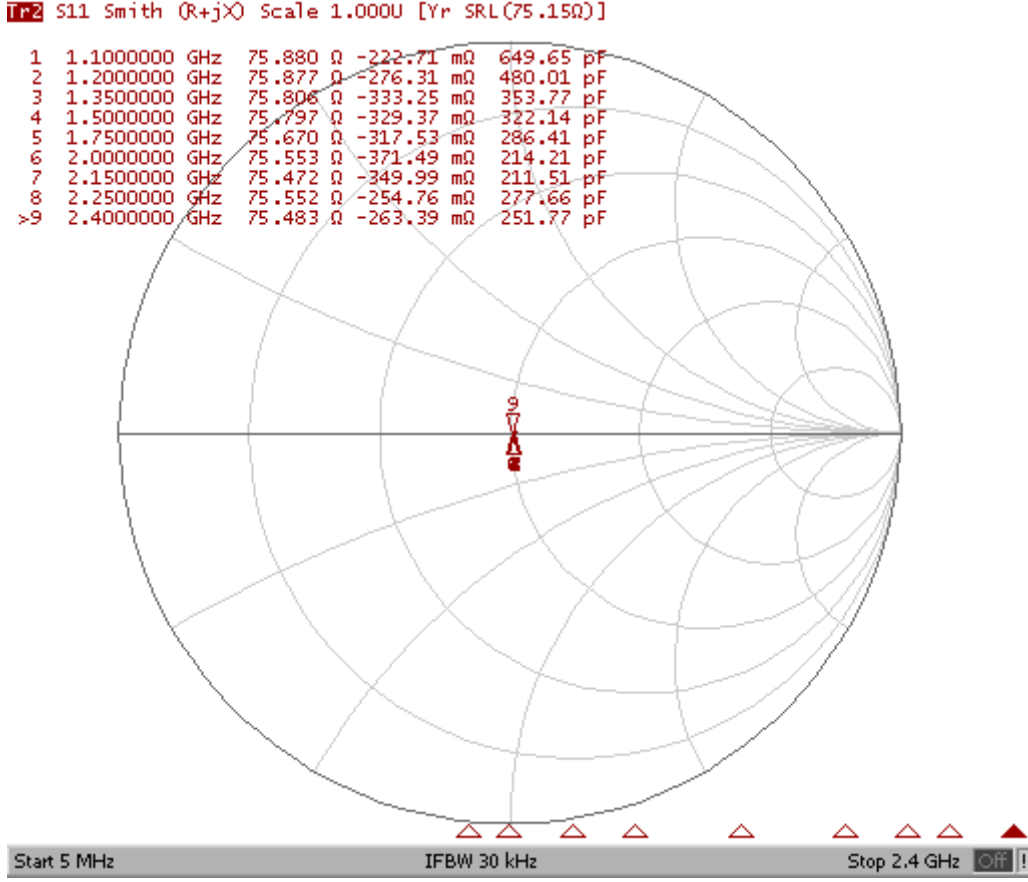
$$\text{Log}(e) = 0,434294481 \text{ ise;}$$

$$\ln\left(\frac{D}{d}\right) \cong 0,434 * \text{Log}_{10}\left(\frac{D}{d}\right) \text{ olur. Buradan;}$$

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \cong \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} * \text{Log}_{10}\left(\frac{D}{d}\right)$$



Denklem sonucunda; karakteristik empedansın malzemenin dielektrik katsayısı, iç iletken çapı ve yalıtkan çapına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.



**Resim 2:** Koaksiyel Kablo Empedans Testi Sonucu

**Sürat ve Dalga Boyu:** Elektrik sinyalinin kablo içindeki hızı, yalıtkanın dielektrik sabiti ve bağlı manyetik geçirgenliğine bağlıdır. Sinyal süratindeki düşüşler görüntü ve ses sinyallerinde gecikmelere yol açmaktadır. Sinyal hızı (v) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

c : Boşluktaki ışık hızı olmak üzere;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

Yalıtkan malzemelerde bağlı manyetik geçirgenlik 1'e eşik kabul edildiğinde sinyal hızı (v) ;

$$v \cong \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

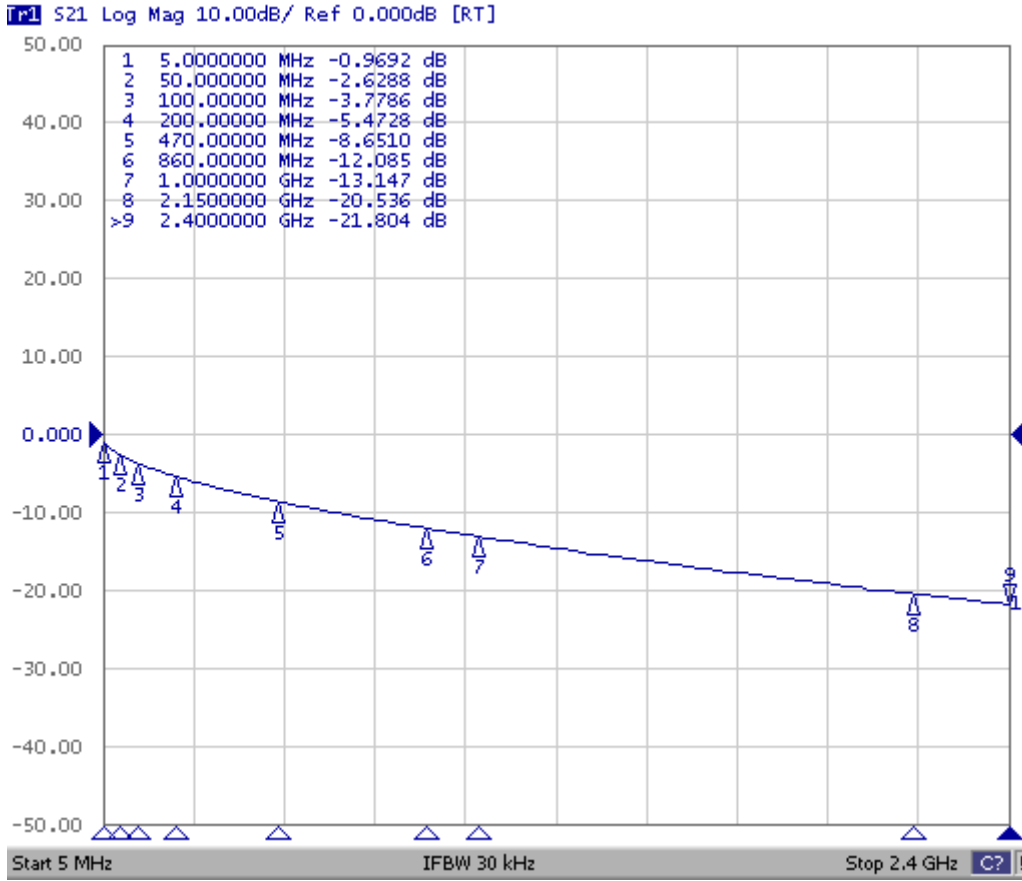
Dalga boyu ( $\lambda$ ), elektromanyetik sinyal hızının frekansa bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{v}{f} \cong \frac{c}{f * \sqrt{\epsilon_r}}$$

**Zayıflama** : Merkez iletken üzerinde taşınan sinyalin hat üzerinde oluşan olumsuz etkilerden dolayı azalması anlamına gelmektedir. Uzun mesafeler için kablo seçiminde büyük ölçüde etkili olan zayıflama değeri, yüksek frekanslara çıkıldıkça ciddi etkisiyle birlikte artmaya başlar. Zayıflayan sinyal görüntünün bozulmasına ya da hiç alınamamasına sebep olmaktadır. Zayıflama birimi ilgili kablo şartnamelerinde desibel/100 metre (dB/100m) olarak gösterilmektedir. Zayıflama koaksiyel kablolarda basit olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\alpha = 20 \log_{10} \frac{U_1}{U_2} \text{ dB/m}$$

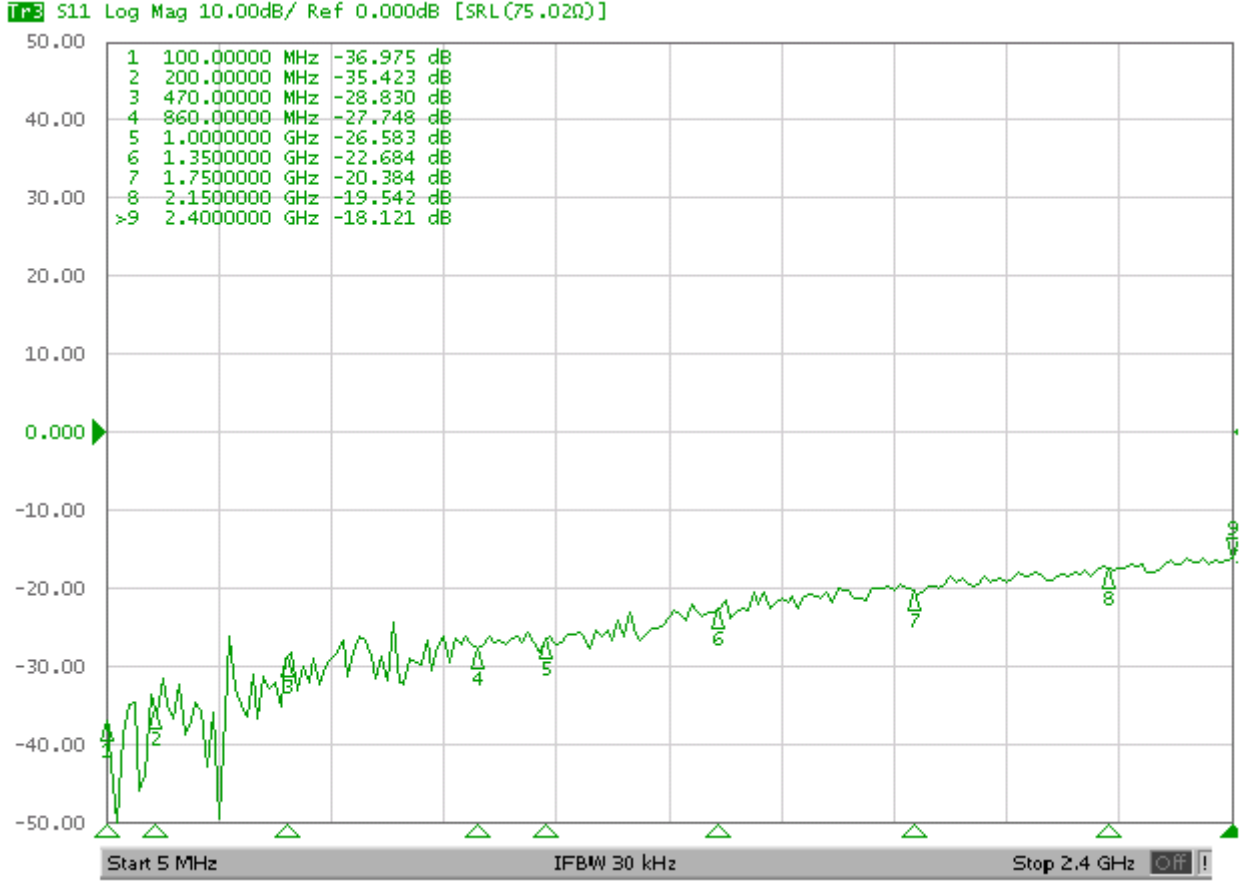
Laboratuvar ortamında Network Analyzer ile yapılan koaksiyel kablo zayıflama test sonucu aşağıdaki gibidir.



**Resim 3:** Koaksiyel Kablo Zayıflama Test Sonucu

**Geri dönüş kaybı** : Kablo içerisinde ilerleyen elektrik sinyalinin, indüktans, kapasitans ve empedans gibi elektriksel değerlerde oluşan bozulmalarla karşılaşarak geri yansımadır. Geri yansıyan sinyaller elektriksel parametrelerin bozulmasına yol açmaktadır. Geri dönüş kaybı malzeme kalitesine ve döşeme esnasında yapılan hatalara bağlı olarak artmaktadır.

Laboratuvar ortamında Network Analyzer ile yapılan koaksiyel kablo geri dönüş kaybı test düzeneği aşağıdaki gibidir:



**Resim 4:** Koaksiyel Kablo Geri Dönüş Kaybı Test Sonucu

**Kritik Frekans** : Koaksiyel kablolar yoğun olarak yüksek frekanslarda kullanılmaktadır. Bir koaksiyel kablonun kullanılacağı frekans maksimum kesim frekansını aşmamalıdır. Kablo döşemesi esnasında kablo teknik sayfalarında verilen minimum bükülme yarıçapına dikkat edilmediği takdirde kablo hesaplanan frekanslarda sinyal iletimi yapamayacaktır. Maksimum frekans aşağıdaki formül ile hesaplanır:

Koaksiyel kablonun ortalama çapı  $\frac{d+D}{2}$  olduğu düşünülürse;

$$f_c = \frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{d+D}{2}\right) \sqrt{\mu_r \epsilon_r}} = \frac{2 \cdot c}{\pi \cdot (d+D) \sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}}$$

Bağıl manyetik geçirgenlik 1'olarak düşünülürse;

$$f_c = \frac{2 \cdot c}{\pi \cdot (d + D) \sqrt{\epsilon_r}}$$

**Ekranlama** : Kablolardaki ekranlamanın temel amacı taşınan sinyali dış ortamda bulunan elektromanyetik etkilerden izole etmektir. Koaksiyel kablolarda ekranlama etkinliği, ekranlama zayıflaması ve transfer empedansı ölçümlenerek belirlenmektedir.



**Resim 5:** Koaksiyel Kablo Ekranlama Etkinliği Ölçüm Düzenegi

**Anahtar Kelimeler:** *zayıf akım kabloları, koaksiyel kablolar, koaksiyel kablo tasarımı, kablo yapısı, koaksiyel kablo testi, ekranlama*