

# BÜYÜK ÇAPLI (>8 İNÇ) KOROZYONLU BORULARDA RADYOGRAFİK TEĞET TEKNİĞİ İLE CİDAR KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

Şinasi EKİNCİ, Mehmet AKSU, Mustafa DOĞRUÖZ, Tekin KURTCEBE,  
Murat BİNGÖLDAĞ, Abidin YILDIRIM, Neşt BAŞ, Serdar SARIÇAM ve  
Necati YILMAZ

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi  
İstanbul, TÜRKİYE

## ÖZET

Sıcak ve soğuk su boru hatlarında kimyasal ve/veya elektrokimyasal olaylar sonucu meydana gelen korozyon, oyuklar, çatlaklar ve boru cidarının incelmeleri ile sonuçlanmaktadır. Borularda cidar kalınlığı ölçümü, korozyon miktarının ve işletme ömrünün belirlenmesi, güvenlik ve ekonomik kullanım açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, ısı santrallerinden, içme suyu şebekelerinden ve piyasadan temin edilen büyük çaplı (>8 inç) korozyonlu boru örneklerinin cidar kalınlıkları radyografik teğet tekniği ile ölçülmüştür. Boru çapına ve cidar kalınlığına bağlı olarak x- ve gama-ışını radyasyon kaynakları kullanılmıştır. Büyük çaplı borularda, cidar kesiti görüntüsünü oluşturan ışınların iç ve dış cidar teğet noktaları ile film arasındaki mesafe büyük olduğundan, görüntü tanımlaması zayıflamakta ve radyograftan kalınlık okuması zorlaşmaktadır. Tanımlamayı yükseltmek için, optimum ışınlama parametreleri farklı boru çapları ve cidar kalınlıkları için araştırılmıştır.

## ABSTARCT

Corrosion in hot and cold water pipelines arising from chemical or electrochemical reactions results in pits, cracks and wall thinning of the pipe. Wall thickness measurement in pipes is very important for determining the extent of corrosion, operational life, safety and economic use.

In this study, wall thicknesses of large diameter (>8 inç) corroded pipe samples collected from heat plants, water networks and market were determined by radiographic tangential technique. X- and gamma-ray sources were used depending on pipe diameter and wall thickness. In large diameter pipes, the image definition is poorer and therefore the accuracy of wall thickness reading is lower, as the distance from the pipe wall section to film is larger. The exposure parameters were optimised according to different pipe diameters and wall thicknesses in order to improve the image definition.

**Keywords:** Radiography, Pipe, Corrosion

## 1. GİRİŞ

Korozyon, kimyasal veya elektrokimyasal olaylar sonucu meydana gelen malzeme kaybıdır. Tuzlu, asidik ve bazik çözeltiler ile nemli veya kuru hava, su ve gazlar korozyona neden olabilmektedir. Boruların korozyonunda, bu maddeler dışında içme suyundaki CO<sub>2</sub> içeriği ve çevre etkileride önem taşımaktadır [1]. Korozyon, oyuklara, çatlaklara ve cidar incelmesine neden olmaktadır. Su borularında tortu, çamur birikmesi ve karbonat, silikat, sülfat, vb. maddelerin çökmesi sonucunda oluşmakta olup, boru etkin kesitinin küçülmesi ile sonuçlanan diğer önemli bir sorundur. Küçük çaplı borularda radyografik teğet tekniği ile korozyon ve tortu ölçümü üzerine daha önce detaylı çalışmalar yapılmıştır [2]. Büyük çaplı korozyonlu boru örnekleri üzerinde aynı yöntem ile cidar kalınlığı ölçümleri bu çalışmaların ışığında sürdürülmüştür.

Büyük çaplı boruların teğet radyografisinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri, büyük çaplarından dolayı görüntüsü alınan cidar kesiti konumu ile film arasındaki büyük mesafedir. Bu, geometrik yarı-gölgeyi ve görüntü büyümesini artıran bir faktördür. Diğer sorun ise, boru dış cidar teğet noktasından iç cidar teğet noktasına doğru radyasyonun geçeceği malzeme kalınlığının artmasıdır. Bu ise, tek enerjili radyasyonla her iki noktada yeterli bir kontrast elde edilmesini engellemektedir. Her iki nedenden dolayı görüntü tanımlaması zayıflamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, büyük çaplı borularda uygun test parametreleri kullanarak görüntü tanımlamasını iyileştirmek, dolayısı ile ölçüm doğruluğunu artırmaktır. Bu amaçla, farklı çap ve et kalınlıklarında korozyolu ve korozyonsuz çelik boru örnekleri kullanılmıştır. Örnekler, ÇNAEM ısı santralinden, İstanbul İSKİ'den ve piyasadan temin edilmiştir. Radyografik çekimlerde x-ışını tüpü (300 kV, 5 mA), Ir-192 (90 Ci) ve Co-60 (34 Ci) kaynakları ile Agfa D7 filmi kullanılmıştır.

## 2. TEĞET RADYOGRAFİSİ

Teğet radyografisi korozyonlu borularda cidar kalınlığı ve oyuk derinliği ölçümü için çok elverişli bir tekniktir. Bu teknikte, boru cidarı görüntüsünü içeren boru kesit görüntüsü bir film üzerine alınmakta ve cidar kalınlığı doğrudan ölçülebilmektedir. Boru cidarının dış ve iç çap sınırlarının ve oyuk derinliğinin doğru değerlendirilebilmesi için kaynak, örnek ve film arasında uygun geometrik parametrelerin kullanılması gerekmektedir. Teğet tekniği şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Film üzerine alınan boru cidar kesitinin sınırları, kaynak ile boru dış çap (OD) ve iç çap (ID) teğet noktalarından çizilen doğrularla belirlenmektedir. Radyasyonun geçtiği en kalın boru bölgesi ID teğet noktasından geçen kirişin uzunluğudur. Görüntüsü alınan cidar bölgesi ile film arasındaki mesafeden dolayı, boru cidar kesitinin film üzerindeki görüntüsü borunun gerçek cidar kalınlığından daha büyüktür. Bu büyüme miktarı, kaynak-film ve kaynak-örnek mesafeleri ile ilişkilidir. Boru cidarının geometrik kalınlığı, radyograf üzerindeki cidar görüntüsü ölçülerek Şekil-1'deki pozisyon 1 yardımı ile aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

$$t_g = t_i (SFD - 0.5 OD) / SFD \quad (1)$$

Burada;  $t_g$ : geometrik cidar kalınlığı,  $t_i$ : radyograf üzerinde ölçülen cidar kalınlığı, SFD: kaynak-film mesafesi ve OD: boru dış çapıdır.

Şekil 1'de görüldüğü gibi,  $t$ , iç teğet noktasından kirişe çizilen dik doğrunun belirlediği kalınlık, yani boru cidarının gerçek kalınlığıdır.  $t_g$  ise, iç teğet noktasından film düzlemine çizilen paralel doğrunun belirlediği kalınlık, yani geometrik cidar kalınlığıdır. Dış çap ve iç çap teğet noktalarının boru dış ve iç yüzeyindeki konumları SFD ile değişmektedir. SFD büyüdükçe,  $t$  ve  $t_g$ 'yi belirleyen doğrular arasındaki açı ( $\vartheta$ ) daha küçük olmaktadır. Büyük SFD değerleri için  $\vartheta$  ihmal edilebilir ve  $t_g$ ,  $t$ 'ye eşit olarak alınabilir. Küçük SFD değerleri için, trigonometrik bağıntılar yardımıyla düzeltme yapmak gerekmektedir.

Gerçekte, radyasyon bir nokta kaynaktan çıkmadığından ve belli bir geometrik boyuta sahip olduğundan, radyograf üzerindeki boru cidarı görüntüsü ( $t_i$ ) aynı zamanda geometrik yarı-gölge ( $U_g$ ) de içerecektir. Dolayısıyla  $U_g$  aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmalı ve gerekli düzeltme yapılmalıdır.

$$U_g = 2(f \times 0.5OD) / (SFD - 0.5OD) \quad (2)$$

Burada;  $U_g$  : toplam yarı-gölge ve  $f$ : kaynak boyutu olup, küçük boru çapları ve büyük SFD için  $U_g$  ihmal edilebilir.

Teğet radyografisi için Şekil 1'de verilen ışınlama pozisyonu 2, pozisyon 1'den daha avantajlı gözükmemektedir. Pozisyon 2'de radyasyon kaynağı borunun bir tarafında boru cidarının merkezine konumlanmış olup, OD ve ID teğet noktaları pozisyon 1'e göre mesafe ile daha az değişmektedir. Büyük SFD için teğet noktaları hemen hemen simetrik olup,  $\vartheta$  pratik olarak sıfır, dolayısıyla  $t_g = t$  dir. Ancak, boru kesiti görüntüsü asimettir. Bu nedenle cidar değerlendirmesi pozisyon 2 tarafında yapılmalıdır. Bu yöntem, özellikle oyuk derinliği değerlendirmesi için büyük avantaj sağlamaktadır.

Boru cidar kalınlığının belirlenmesinde kullanılabilecek diğer yöntem, boru dış çapının (OD) ve radyograf üzerindeki görüntüsünün ( $OD_i$ ) ölçülmesine dayanmakta olup, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$t = t_i \times OD / OD_i \quad (3)$$

Ayrıca, özel referans bloklar yardımıyla, özellikle saha uygulamalarında boru cidar kalınlığı ölçümü için diğer bazı yöntemler de kullanılmaktadır [3,4].

### 3. UYGULAMALAR VE BULGULAR

Bu çalışmada, çok sayıda korozyonlu ve korozyonsuz çelik boru örneği üzerinde radyografik teğet tekniği ile cidar kalınlığı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Örneklerden 4 tanesi çalışma kapsamında değerlendirilmiş olup, gerekli bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

Boruların radyograflarının alınmasında boru et kalınlığına bağlı olarak 10 mm Cu+5 mm Al ile filtrelenmiş x-ışını tüpü, Ir-192 ve Co-60 radyasyon kaynakları kullanılmıştır. Radyasyon enerjisi seçiminde, maksimum malzeme kalınlığı olan iç cidar teğet noktasından geçen kirişin uzunluğu belirleyici olmuştur. Kaynak-film mesafesi olarak 1-2 m arasında farklı değerler kullanılmıştır. Işınlama süresi, boru merkezinde 4 dolayında bir yoğunluk elde edecek şekilde seçilmiştir. Bu yoğunluk aralığında boru iç cidar sınırında oldukça iyi bir görüntü tanımlaması elde

edilmektedir. Sağladığı avantajlardan dolayı, ışınlamalar genellikle Şekil 1'deki pozisyon 2'ye göre yapılmıştır.

Çizelge 1. Boru örnekleri

Örnek No	Çap (mm)	Et kalınlığı (mm)	Orijini	Kullanılan radyasyon kaynağı	Durumu
1	195	6	Isı Santrali	X-ışını, Ir-192 ve Co-60	Az korozyonlu
2	218	3	Piyasadan	X-ışını ve Ir-192	Korozyonsuz
3	275	12	Isı santrali	Ir-192 ve Co-60	Çok korozyonlu
4	325	7	Su şebekesi	X-ışını ve Ir-192	Tortulu, az korozyonlu

Boru örneklerinden, x-ışınları, Ir-192 ve Co-60 ile alınan radyograflar ışınlama parametreleri ile birlikte Şekil 1, 2, 3 ve 4' de verilmiştir. Radyograflardan, yarı-gölge dahil edilmeden ölçülen et kalınlıkları, (1) eşitliği yardımıyla büyültme faktörü de göz önüne alınarak Çizelge 2'de verilmiştir. Burada, pozisyon 2'ye göre ışınlama yapıldığından,  $t_g=t$  olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Boru örneklerinin ölçüm sonuçları

Örnek No	Gerçek et kalınlığı ( $t=t_g$ ) (mm)	Boru kesit Merkezinde Yoğunluk	Radyograftan ölçülen et kalınlığı ( $t_i$ ), $U_g$ hariç (mm)	Ölçülen net kalınlık (mm)	Hata (mm)
1	6.0	Ir:3.8, Co:4.0	6.5	5.9	-0.1
2	3.0	Ir:3.9, X:4.0	3.5	3.1	+0.1
3	12.0	Ir:4.2, Co:4.0	13.0	11.2	-0.8
4	7.0	Ir, X:3.7	8.0	6.7	-0.3

Çizelge 2'den görüldüğü gibi, radyograflardan tayin edilen kalınlıklar ile gerçek kalınlıklar arasında küçük farklar tespit edilmiştir. Bunun nedeni, borunun ID teğet noktasından OD teğet noktasına doğru kalınlığın tedrici olarak azalması ve OD teğet noktasına yakın bölgelerin çok ince olmasından dolayı bu bölgede kararmanın çok yüksek olmasıdır. Dolayısıyla, ölçüm tam OD sınırı yerine biraz daha boru merkezine doğru iç bölgeden alınmaktadır. Bu sorunu boru dış cidarına tam temas halinde ve radyasyona teğet olacak şekilde konulacak bir referans blok yardımıyla çözmek mümkündür[3,4]. Ölçüm hatasına neden olan diğer etken ise , boru çapının büyük olmasından dolayı cidar kesit görüntüsündeki yarı-gölgenin de büyük olmasıdır. Büyük yarı-gölge ölçüm hatasını artırmaktadır.

#### 4. YORUM

Büyük çaplı borularda, sahip oldukları çap ve et kalınlığına bağlı olarak, radyasyonun geçtiği maksimum kalınlık olan iç teğet kriş uzunluğu genellikle büyük olmakta ve alışagelmış x-ışını enerjisiyle bu kalınlığa nüfuz etmek mümkün olmamaktadır. Halbuki, cidar kalınlığı ölçümünde en önemli sorun iç cidar sınırının belirlenmesi olup, doğru bir ölçüm yapılabilmesi için bu noktada yeterli bir malzeme kontrastının elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle x-ışınlarından daha yüksek enerjiye sahip olan Ir-192 ve Co-60 kaynakları da kullanılmıştır. Kullanılan örnek boyutları için en iyi malzeme kontrastı Ir-192 ile elde edilmiştir. Co-60 ise yüksek enerjisinden dolayı daha kötü malzeme kontrastı vermiştir. Boru cidarının iç teğet noktasından geçen ışınlar en fazla malzeme kalınlığı katetmekte ve bu kalınlık, borunun dış cidarına ve boru merkezine doğru tedrici olarak azalmaktadır. Yüksek enerjilerde ise, kalınlık değişimine karşı duyarlık, yani malzeme kontrastı azalmaktadır.

Borunun dış cidar tarafında kalınlık küçük olduğundan, yüksek enerjili ışınlar dış cidar bölgesinden daha fazla geçmekte ve bu bölgede aşırı bir film kararmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, dış cidar sınırı daha içeriye, yani boru merkezine doğru kaymış gözükmektedir. Yukarıdaki her iki neden de ölçüm hatasını artırmaktadır. Boru dış cidarına konulacak bir referans blok ile dış cidar sınırı belirlenebilir. Düşük enerjili ışınlarda, latitud azalmakta dolayısıyla dış cidar sınırında görüntü tanımlaması da azalmaktadır. Bu nedenle, x-ışınları ile alınan radyografılarda düşük enerjili ışınlar filtre ile süzülerek latitud artırılmıştır.

Büyük çaplı borularda karşılaşılan diğer sorun, görüntüsü alınan boru cidar kesiti bölgesi ile film arasındaki mesafedir. Bu, hem görüntü büyümesine hem de geometrik yarı-gölgenin artmasına neden olmaktadır.

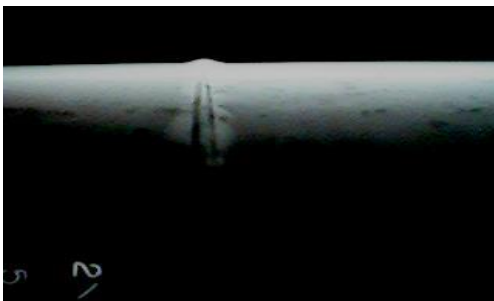
Kontrastı artıran en önemli faktörlerden biri de film yoğunluğudur. Yüksek yoğunluklarda yüksek bir kontrast elde edildiğinden, boru iç cidar sınırı da daha iyi ayırt edilebilmektedir. Bu nedenle boru kesitinin merkezinde 4 dolayında bir yoğunluk elde edecek şekilde ışınlama parametreleri seçilmiştir. Bu durumda, boru iç cidar teğet sınırında yeterli bir tanımlama elde edilebilmektedir. Ayrıca, film taneselliği (veya hızı) kontrastı etkilemektedir. Hızlı filmlerde (iri taneli) kontrast düşük, yavaş filmlerde (ince taneli) ise yüksektir. Bu çalışmada hızlı film Agfa D7 kullanılmıştır. Farklı hızda filmler kullanılarak görüntü tanımlaması ayrıca değerlendirilebilir.

Teğet radyografisi korozyonlu borularda cidar kalınlığı ölçümü için oldukça duyarlı bir tekniktir. Kaynak-film mesafesi, film yoğunluğu, kullanılan radyasyon türü ve enerjisi kritik parametrelerdir. Kullanılan büyük çaplı boru örnekleri için, alışlagelmış x-ışını enerjilerinin yetersiz kaldığı, Co-60 enerjisinin yeterli kontrast vermediği ve Ir-192 izotopunun bu çalışma şartları için en uygun kaynak olduğu sonucuna varılmıştır.

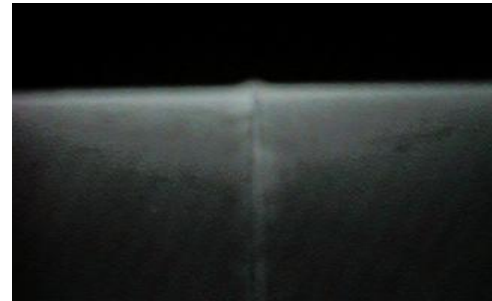
## KAYNAKÇA

1. B.H.Mahan, "University Chemistry", 3<sup>rd</sup> Ed., Addison-Wesley Publ. Comp., Amsterdam 1975.
2. Ş.Ekinci ve diğeri, "Corrosion and Deposit Measurements in Pipes By Radiographic Techniques", Insight, Vol.40, No.9, Sept.1998.
3. W.S.Burkle, "Application of Tangential Radiographic Technique For Evaluating Pipe System Erosion/Corrosion", Materials Evaluation, Vol.47, Oct.1989.
4. R.P.Krolicki, "Internal Corrosion Examination and Wall Thickness Measurement of Pipe By Radiographic Method", Materials Evaluation, Feb. 1977.

Şekil 1: Teğet radyografisinin prensip şeması

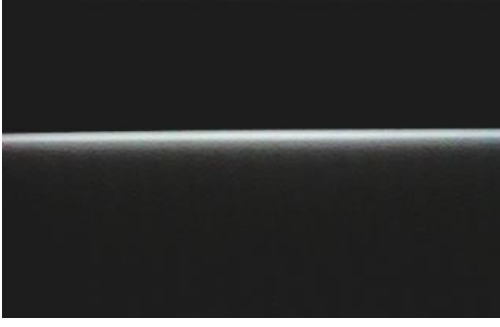


(a)

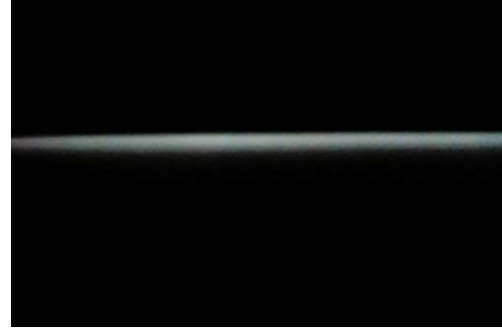


(b)

Şekil 2. 1 nolu örneğin radyografaları: a) Ir-192(90 Ci), SFD: 1 m, t: 4 dk, D: 3.8  
b) Co-60 (34 Ci), SFD:1 m, t: 8 dk, D:4.0



(a)



(b)

Şeki 3. 2 nolu örneğin radyografaları: a) Ir-192 (90Ci), SFD: 1 m, t: 2.5 dk, D: 3.9  
b) X-ışını (280 kV, 5mA), SFD:1m, t:8dk, D:4.0

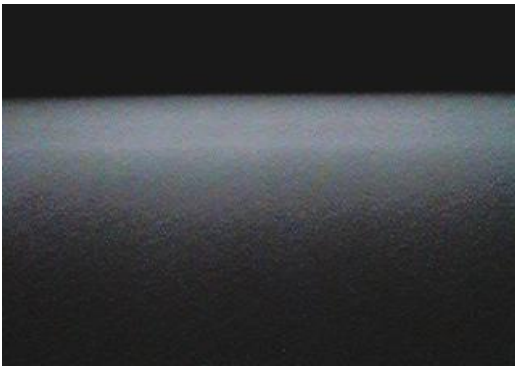


(a)

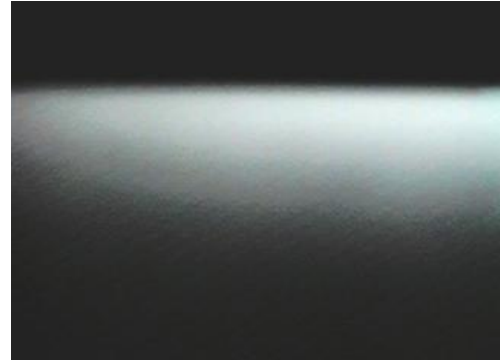


(b)

Şekil 4. 3 nolu örneğin radyografaları: a) Ir-192 (90Ci), SFD: 1 m, t: 6.5 dk, D: 4.2  
b) Co-60 (34 Ci), SFD:1 m, t: 12 dk, D:4.0



(a)



(b)

Şekil 5. 4 nolu örneğin radyografaları: a) Ir-192 (90Ci), SFD: 1 m, t: 4 dk, D: 3.7  
b) X-ışını(300 kV, 5mA), SFD:1m,t:10dk, D:3.7