

## BOYUNA DİKİŞLİ ÇELİK BORULARIN GİRDAP AKIMI YÖNTEMİYLE KONTROL UYGULAMALARI

### EDDY CURRENT APPLICATIONS ON LONGITUDIONAL WELDED STEEL TUBES

Hakan GÜNAY\*, Süleyman KARADENİZ\*\*

\* TMM, Tahribatsız Malzeme Muayene San. ve Tic. Ltd.Şti, Bursa

\*\* DEU, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

[hakan.gunay@tmmndt.com](mailto:hakan.gunay@tmmndt.com) , [suleyman.karadeniz@deu.edu.tr](mailto:suleyman.karadeniz@deu.edu.tr)

#### ÖZET

Boyuna dikişli çelik boruların Tahribatsız Muayene işlemlerinde girdap akımı test yöntemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bilindiği gibi elektromagnetik bir test yöntemi olan girdap akımı testleri boruya hasar vermeden tüm boru hacminin veya kaynak dikişi çevresinin kontrolü için kullanılabilir. Bu çalışmada, çelik boru imalatında hatasız boru üretimini sağlayacak en önemli test yöntemlerinden birisi olan girdap akımı test uygulamalarının temellerine, uygulama yöntemlerine, test sistemlerine ve testi etkileyen parametrelerin nasıl kontrol altında tutulması gerektiğine değinilmiştir. Yöntemle ve uygulama ile ilgili pratik çalışmalar açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Girdap akımları, Boru kontrolü, online test, offline test

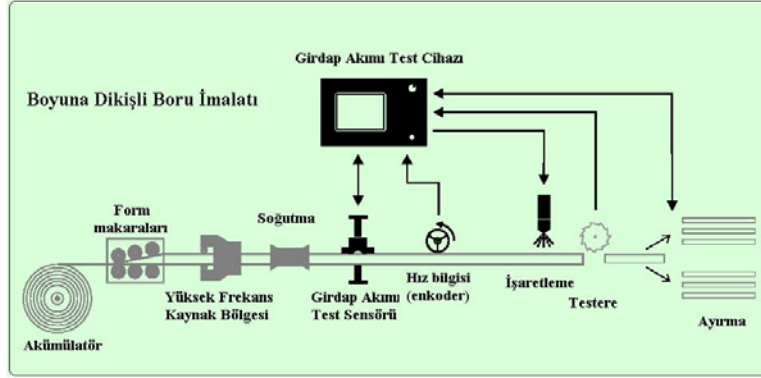
#### ABSTRACT

Use of eddy current test methods for steel tubes with longitudinal weld seams in nondestructive testing is becoming wide spread. Eddy current tests which are electromagnetic test method, are used for tube body and weld seam control without damaging the tube. In this study the fundamentals of eddy current test applications, application methods, test systems and investigation of possible parameters affecting the test results are mentioned. The method is one of the most important test methods that enable the flawless steel tube production. Practical aspects regarding the method and the application are also given in the study.

**Keywords:** Eddy current, Tube control, online test, offline test

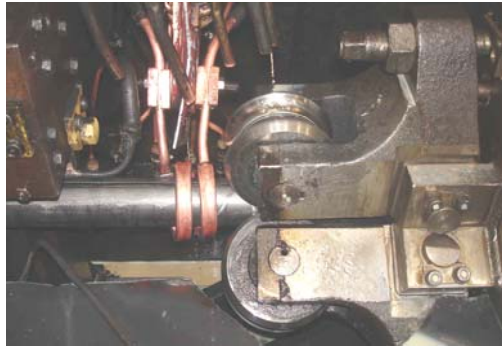
## 1. GİRİŞ

Çelik boru fabrikaları, içerisinde pek çok farklı imalat türünü barındıran ağır sanayi tesisleridir. Bu fabrikalarda hammadde veya yarı mamul olarak gelen saç rulolar nihai ürün haline gelinceye kadar pek çok safhadan geçirilir. Dilimlenmiş rulo saçlar bir dizi makara sistemi ile form makaralarının arasında soğuk şekil değiştirilerek yuvarlak hale getirilir. Yüksek frekansla ısıtılan yuvarlatılmış saç, kaynatma makaralarında uygulanan basınç yardımıyla kaynatılır. Resim 1'de yüksek frekans kaynak eksenini görmektedir. Bu kaynak işlemi genellikle yüksek frekans indüksiyon basınç yöntemi (ERW, HF) olarak adlandırılır. Kaynak noktasından hemen sonra borunun iç ve dış çapak tabir edilen kaynak artıkları temizlenir. Boru, kalibre makaralarına doğru ilerlerken yuvarlak, kare veya dikdörtgen formlarına dönüştürülür. Nihai ürün, hareketli döner testerele istenilen boylara kesilerek konveyörler ile kaynak hattından uzaklaştırılır. Boyuna dikişli boru imalatı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Boyuna dikişli boru imalat hattı

Yüksek frekans indüksiyon kaynaklı boru üretiminde kaynak kalitesi üzerine yöntem parametrelerinin etkisi çok büyüktür. Bu parametrelerin iyi bilinmesi ve kontrol altında tutulması yüksek kaynak güvenilirliği açısından çok önemlidir. Bu parametrelere, birleşme noktasının kaynak noktasına uzaklığı, bant kenarlarının V-ağız açıklığının geometrisi ve birleşme pozisyonu, indüktif enerji girdisi, indüktör ve empeder tasarımı ve yerleşimi, kaynak birleşme yerlerindeki oksit oluşumu ve kaynak noktasındaki yabancı maddeler ve hat hızı gibi pek çok örnek verilebilir [1]. Pratikte hiçbir zaman bu kadar çok parametreyi kontrol altında tutabilmek mümkün değildir. Bu yüzden imalat esnasında tahribatlı ve/veya tahribatsız olarak üretilen borunun kontrol edilmesi zorunludur.



Resim 1. Yüksek frekans basınç kaynağı

Pratikte boyutsal kontroller kumpas ve mikrometreler ile mekanik mukavemet değerlerinin kontrolü ise çekme ve basma cihazlarında yapılır. Mekanik kontrollerde imalat borusundan kesilen bir parça boru baskı presinin altına yerleştirilir (Resim 2). Oluşacak yırtılma ile kaynak dikişinin sağlamlığı tahribatlı olarak test edilebilir. Kaynak dikişi sağlam olmayan bir boruda genellikle bu basma deneyi sonrasında kaynak dikişinde gözle görülür bir yırtılma meydana gelir. Bu sayede kaynak parametrelerinden bazılarının doğru olmadığı anlaşılır. Benzer mekanik testler boruya iç basınç uygulanarak da tekrarlanır. Su presi tabir edilen tezgâhlarda boru iki ucundan kapatılarak içerisine basınçlı su gönderilerek olası hatalar tespit edilmeye çalışılır. Fakat bu yöntemlerin hiç birisi tüm imalatın sağlamlığını garanti edemez ve imalata hızlı bir reaksiyon gösteremez. Çünkü imalat esnasındaki pek çok değişken, boruda küçük bölgesel hatalar oluşturabilmektedir. Boyuna dikişli borular bazı durumlarda ultrasonik test yöntemleriyle de incelenebilir. Fakat bu yöntemde test süreleri daha uzun, uygulamalar da hayli pahalı ve zordur. Hat hızları boru çapı ve et kalınlıklarına bağlı olarak 30-40 m/dak'dan 250-300 m/dak'lara kadar çıkabildiğinden en uygun test yöntemi girdap akımları olmaktadır.



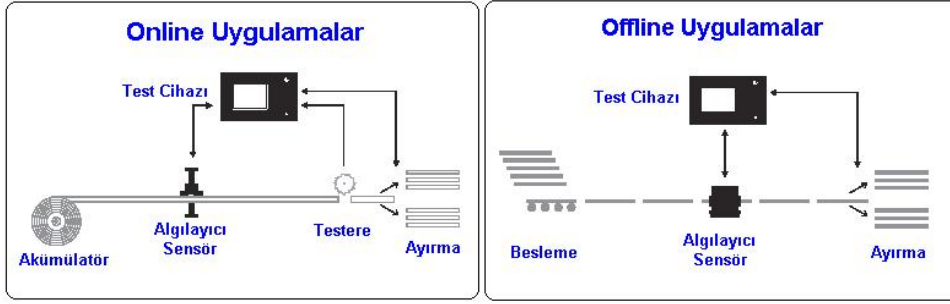
Resim 2. Yassılma testi ile kaynak dikişinin tahribatlı muayenesi

Girdap akımı test sistemi, temel olarak bir sensör ve bunları kontrol eden, sinyalleri işleyen ve çevreyle haberleşen girdap akımı test cihazından oluşur. Test sisteminin imalat hattıyla haberleşmesi otomatik olarak kalite ve proses kontrolünü sağlar. Hazırlanan test raporları ile ürünün gerçek kalitesi karşılaştırılarak, kalite gereksinimleri için en iyi parametreler ayarlanabilir.

Yukarıda verilenlerin ışığında boyuna dikişli çelik boru imalatı yapan fabrikalarda kalite kontrol ve imalat birimlerinin en önemli yardımcıları girdap akımı test sistemleri olmaktadır. Girdap akımı test sistemleri sadece kaynaktan hemen sonra borunun testi için değil, aynı zamanda belirli boylara kesilmiş ve farklı mekanik işlemlerden geçirilmiş parça borular için de kullanılabilir. Test sistemleri bu yüzden imalat hattı üzerinde (online) ve imalat hattı dışında (offline) kontrol sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

## 2. BOYUNA DİKİŞLİ ÇELİK BORULARIN GİRDAP AKIMLARI İLE TESTİ

Boru fabrikalarında genellikle, online veya offline çalışan girdap akımı test sistemleri ile kontrol uygulamaları yapılmaktadır. Online sistemler hem boruyu ve hem de imalat hat parametrelerini kontrol ederken, offline sistemler nihai ürünün kontrol etmektedir. Sistemlerin şematik görünümü Şekil 2.a) ve b)'de ve uygulama örnekleri Resim 3.a) ve b)'deki gibidir.



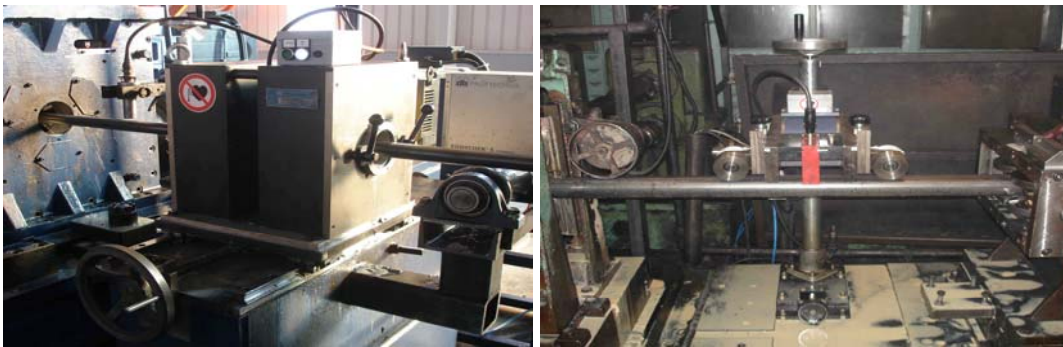
Şekil 2. a) Online ve b) Offline boru kontrolü şematik gösterimi.



Resim 3. a) Online ve b) Offline boru kontrollerinde örnek uygulamalar

## 2.1 Boyuna Dikişli Çelik Borular için Online Test Sistemleri

Şekillendirme makaralarının arasında bulunan magnetizasyon üniteleri ve sensör sistemi yardımıyla borular online teste tabi tutulur. Test işlemleri online devam ederken hareketli testereler kullanılarak borular istenilen boylarda kesilir. Boruların testinde 2 farklı sensör tipi ve magnetizasyon ünitesi kullanılır. Birincisi, dairesel bobinler için dairesel magnetizasyon üniteleri, ikincisi ise segment tip bobinler için boyuna magnetizasyon üniteleridir. Dairesel bobinler ile tüm hacim kontrolü yapılabilirken, segment bobinler ile yalnızca kaynak dikişi kontrolleri yapılabilir. Standartlar her iki kontrol tipine izin verirken boru çapının  $\text{Ø}177,8\text{mm}$ 'den büyük olduğu durumlarda segment kontrole geçiş önerilir. Segment bobin ile kare ve dikdörtgen kesitli boruların kaynak dikişi kontrolleri de mümkündür. Hangi sistemin tercih edileceği ise tamamen boru ebatlarına ve sistemin donanım özelliklerine bağlıdır. Her iki sistemin kalibrasyon prosedürü, sistem girdi ve çıktıları tamamen aynıdır. Resim 4.a)'da magnetizasyon ünitesi ve dairesel bobin ile online tüm hacminin (full body) kontrol uygulaması gösterilmiştir. Resim 4.b)'de ise doğrusal magnetize ünitesi ve segment bobin ile online kaynak dikişi test uygulaması görülmektedir.



Resim 4. a) Dairesel b) Segment bobinle online test uygulaması

Magnetizasyon üniteleri ile boru magnetik olarak doyuma ulaştırılırken, aradaki test bobini ile de malzeme girdap akımı prensibi ile test edilir. Magnetizasyon bobini kullanılmadığı durumlarda test bobininden alınan sinyaller oldukça gürültülü olacağından test işlemi hassasiyetini kaybeder.

Girdap akımı test cihazları genelde testere kesme sinyali ile birlikte değerlendirme sinyali verecek şekilde tasarlanmıştır. Ölçüm bilgileri testere kesim noktasına kadar sistemin hafızasında tutulur ve ardından kesme bilgisi ile birlikte borunun sağlam veya ıskarta olduğuna karar verilir. Hat sonunda bulunan bir yaklaşım sensörü sayesinde borunun değerlendirme kararı oluşturulur ve borular sağlam veya ıskarta keselerine doğru yönlendirilir. Tüm bu işlemler imalat hızında devam eder ve test sistemi hattın hız değişimlerine anında reaksiyon gösterir. Hat üzerine yerleştirilmiş bir enkoder sayesinde hız bilgisi test cihazına girilerek tespit edilen hatalar boya tabancası ile işaretlenir. Hat hızı ve boya tabancasının sensöre uzaklığı bilindiğinde boya tam hatanın üzerine püskürtülebilir. Boya tabancasının yanı sıra test sistemlerine korna ve lamba gibi uyarıcı ekipmanlar da bağlanabilmektedir. Online test sistemleri bu özellikleri dolayısıyla imalat operatörüne anında bir geri besleme bilgisi sağlamakta ve imalatı en az kayıp verecek şekilde yapabilmesine imkân tanımaktadır.

## **2.2 Boyuna Dikişli Çelik Borular için Offline Test Sistemleri**

Offline girdap akımı kontrol sistemlerini online sistemlerden ayıran en büyük özellik boruların belirli boylarda kesilmiş olmasıdır. İmalat hattından 3...12 metre arasındaki boylarda kesilmiş olarak çıkan borular çapak alma, soğuk çekme, ısı işlem v.b operasyonlardan geçirildikten sonra ve müşteriye gönderilmeden önce mutlaka girdap akımı test işleminden geçirilmelidir. Aksi takdirde imalat kademelerinin herhangi birinde oluşabilecek hatalar ürünün kalitesini etkiler.

Offline test sistemlerinde kesilmiş borular bir konveyör sistemi üzerinde sabit hızla, magnetizasyon bobini ve sensör sisteminin içerisinden geçirilerek test edilir. Boruların, test sisteminin tam merkezinden geçebilmesi için magnetizasyon ünitesi ve sensörü mutlaka yatay ve düşey ekseninde ayarlı bir tabla üzerine monte edilmelidir. Offline test sistemlerinde dairesel bobin uygulamalarının yanı sıra, döner prop uygulamaları da yapılmaktadır. İmalat tipine bağlı olarak iki test sistemini kombineli kullanmak da mümkündür. Dairesel bobin test sistemleri ile delik, boşluk v.b enine hatalar tespit edilirken, döner sistemler ile çok küçük boyuna çatlaklar tespit edilebilmektedir. Dairesel bobinli test sistemleri özellikle çelik çekme boru imalatı sırasında oluşan kaynak bölgesindeki yüzey çatlaklarını yakalamada yetersiz kalmaktadır. Bu tür imalatlarda döner proplu test sistemlerinin kullanılması faydalı olmaktadır. Fakat döner proplu sistemler yüzey pürüzlülüğü ve doğrusallıktan aşırı derecede etkilendiği için standart dikişli boru imalatında kullanılamaz. Bir diğer sakınca da standart boruların testlerinde girdap akımları kaynak dikişi üzerinden geçerken mutlaka farklı bir sinyal algılayacak ve yanlış hata sinyalleri üretebilecektir. Bu yüzden boyuna dikişli borularda sadece tavlanmış ve doğrultulmuş çelik çekme boruların testlerinde kullanılabilir.



Resim 5.a) Offline dairesel bobin test sistemi b) Offline kombine test sistemi

Resim 5.a)'da dairesel bobinli offline test sistemi, Resim 5 b)'de kombine offline test uygulaması gösterilmiştir. Bu test sistemi çelik çekme boruların boyuna ve enine hatalarını aynı anda tespit etmek amacıyla hizmet etmektedir.

Offline test işlemlerinin en belirgin özelliği ve sorunu boruların giriş ve çıkış bölümlerinde test edilemeyen bölgelerin oluşmasıdır. Teste başlama ve bitiş bilgisi magnetizasyon bobininin girişindeki fotosel ile belirlenir. Boru magnetizasyon bobinine girerken gelen sinyal, hat hızı bilgisi ve limit switch-bobin arasındaki mesafe göz önüne alınarak teste bir miktar geç başlanır. Aksi takdirde bobinin içerisinde boru yok iken gelen sinyaller çok büyük değerlerde olur ve boru ıskarta olarak işaretlenir. Benzeri durum borunun çıkışı için de geçerlidir. Fotoselden boru sonu bilgisi alındığında belirlenen süre sonunda test işlemi bitirilerek çıkış sinyallerinin alınması engellenir. Sonuç olarak boru giriş ve çıkışında test edilemeyen birer bölüm kalır. Bu bölümlerin yeterince kısa tutulması fotosellerin reaksiyon zamanlarına, test sisteminin işlem hızlarına ve hat hızının düzgünlüğüne bağlı olmaktadır. Pratikte test edilemeyen boru başlangıcı ve boru sonu mesafeleri 5cm den 20 cm'ye kadar değişebilmektedir. Test edilemeyecek boru başı ve boru sonu mesafeleri operatör tarafından kalibrasyon esnasında belirlenir.

Girdap akımı test cihazları, offline kontrollerde genelde borunun atma noktasına geldiği anda değerlendirme sinyali verecek şekilde tasarlanmıştır. Ölçüm bilgileri konveyör çıkış noktasına kadar sistemin hafızasında tutulur ve yaklaşım sensöründen gelen sinyal ile birlikte borunun sağlam veya ıskarta olduğuna karar verilir. Tüm bu işlemler konveyörün ayarlanan hızında devam eder ve enkoder sayesinde hattın hız değişimlerine anında reaksiyon gösterir. Enkoder'den gelen hız bilgisi sayesinde hataların tam üzeri boya tabancası ile işaretlenebilir. Pratikte offline test sistemlerinde karşılaşılan kontrol hızları 100...250 m/dak olabilmektedir. İmalat ve online test hızından daha büyük bir offline kontrol hızı, ara operasyonlarda kaybedilen zamanları telafi edebildiğinden nihai ürünün kontrolü açısından çok büyük önem taşımaktadır. Boru fabrikalarında son birkaç yılda hem online hem offline girdap akımı kontrol uygulamalarını bir arada yaparak ürün kalitelerini en üst düzeye çıkarma eğilimi görülmektedir.

### 3. GİRDAP AKIMI TEST SİSTEMLERİNDE KALİBRASYON

Boyuna dikişli çelik boruların otomatik girdap akımı muayenesini tanımlayan pek çok standart bulunmaktadır. Hangi standarda göre imalat ve kontrollerin yapılacağını yaygın olarak boruyu alan müşteriler belirlemektedir. Bu standartlardan en bilinenleri ASTM, API, BS, JIS, ETTTC, ENEL, DIN, SEP 1925 /1917 /1914, EN 10246'dır. Ülkemizdeki uygulamalarda en çok kullanılan ise API, SEP 1917 ve EN 10246 standartlarıdır.

Online ve offline test sistemlerinin kalibrasyonu için genelde 2 yöntem izlenir. Birinci yöntemdeki kalibrasyon, magnetizasyon ünitesi ve test bobininin imalat hattının dışına çıkarılması ve referans delik hataları ile kazanç ve frekans ayarlarının yapılması şeklindedir. Ancak bu yöntemde hat hızından bağımsız örnekleme test modları kullanıldığından tam manasıyla bir filtreleme işlemi yapılamaz ve imalat koşullarından uzaklaşılır. İkinci ve daha çok önerilen metod ise, kalibrasyonun imalat hattı veya konveyör sistemi üzerindeki boru üzerine referans deliklerin delinmesi ve bu yapay hatalar yardımıyla ayarların yapılmasıdır. Bu amaçla online sistemlerde akümülatör bölgesindeki saç üzerine belirli aralıklarla delinen referans hata delikleri, gerçek hat hızında tespit edebilmek üzere sistem ayarlamalarının yapılmasına imkan sağlar. Resim 6.a)'da bant üzerine delinen kalibrasyon deliği görülmektedir. Online testlerde diğer bir kalibrasyon şekli de, imalatın geçici olarak durduğu bir anda kaynak bölgesinden sonra ve soğutma bölgesinden önce referans deliğin açılması şeklindedir. Bu uygulama diğerine nazaran daha kolay olduğundan tercih edilmektedir. Resim 6.b)'de boru üzerine oluşturulan kalibrasyon deliği görülmektedir. Offline test sistemlerinde ise, her boru çapı ve et kalınlığı için hazırlanmış bir kalibrasyon borusu olmalıdır. Test sisteminin kazanç, filtre ve merkezleme ayarları bu kalibrasyon borusu yardımıyla yapılmaktadır [2].



Resim 6. Online kontrollerde a) bant ve b) boru üzerinde kalibrasyon delikleri

Bu şekilde ayarlamaları tamamlanmış bir test sistemi ile bir sonraki boru ebadı değişimine kadar sorunsuz test işlemi gerçekleştirilme imkânı sağlanmaktadır. Pek çok test cihazında bulunan dosyalama sistemi sayesinde ayarlar hafızaya kaydedilebilmekte ve benzer imalatlarda tekrar tekrar kullanılabilir. Girdap akımı testlerinde en önemli hususlardan bir tanesi de, test bobininin merkezlenmesinin düzgün yapılması şartıdır. Doğru merkezlenmemiş bir boru gerçekten hassas test edilmiş sayılamaz. Bu yüzden boru ile koruyucu klavuzlar arasındaki mesafeler mutlaka mesafe şimleri veya kumpas ile ölçülmelidir. İmalat hatlarının ve konveyör sistemlerinin merkezleri genelde sabit olduğundan magnetizasyon ünitesi ve sensör sisteminin bu sabit merkeze göre ayarlanması gereklidir. Bu nedenle magnetizasyon kutuları 2 eksenli raylı arabalı ve vidalı tahrikle hareket edebilecek tablalar üzerinde sisteme entegre edilirler.

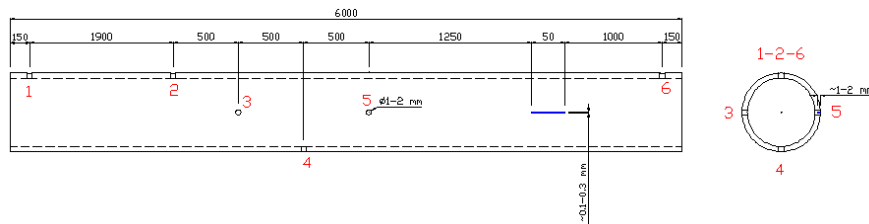
Cihazların kalibrasyonu için değişik standartlar değişik kalibrasyon şartları önermekte ise de, temelde mantık aşağı yukarı aynıdır. Sadece uygulamada bazı farklılıklar oluşmaktadır. Bilinen tüm test standartları kalibrasyon için imalat 1adet sağlam kalibrasyon borusunun hazırlanmasını öngörür. Kalibrasyon borusunun üzerinde hazırlanacak delikler için en pratik yöntem matkap ile deliklerin delinmesidir. Delik çapları testin hassasiyetini belirleyen en önemli faktördür. EN 10246'da dairesel bobinli sistemler için üretilen boru çap aralıklarına bağlı olarak delik çapları Tablo 1'de belirlenmiştir. Çentikler için standartlarda verilen değerler de benzer özellikler taşır. Çentikler "N" tipinde ve borunun ana eksenine paralel, derinliği en az 0,5mm ve en çok 1,5mm olmalıdır. Referans çentikler elektro-erozyon veya ince dairesel freze çakıları ile açılabilir. Çentikler genelde döner sistem kalibrasyonlarında tercih edilir.

Tablo 1. Boru dış çapına göre referans kalibrasyon deliği çapları

Boru dış çapı Ø mm	Matkap Çapı mm			Boru dış çapı Ø mm	Matkap Çapı mm E4H
	E1H	E2H	E3H		
Ø ≤ 10	0,6	0,7	0,8	Ø ≤ 26,9	1,2
10 < Ø ≤ 20	0,7	0,8	1,0	26,9 < Ø ≤ 48,3	1,7
20 < Ø ≤ 44,5	0,8	1	1,3	48,3 < Ø ≤ 63,5	2,2
44,5 < Ø ≤ 76,1	1,0	1,2	1,6	63,5 < Ø ≤ 114,3	2,7
76,1 < Ø ≤ 177,8	1,2	1,4	2,0	114,3 < Ø ≤ 139,7	3,2
177,8 < Ø	1,2	1,4	2,0	139,7 < Ø ≤ 177,8	3,7
				177,8 < Ø	

### 3.1 Kalibrasyon Borusunun Hazırlanması

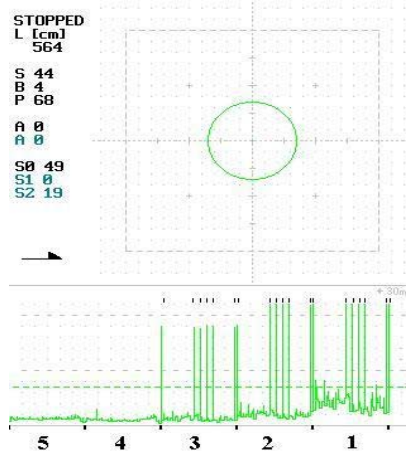
Offline sistemler için pek çok standartta kalibrasyon borusunun, borunun et kalınlığı boyunca radyal olarak açılmış üç dairesel delik ihtiva etmesi gerektiği belirtilir. Bu üç deliğin birbirine göre 120° açı ile çevresel olarak konumlanması ve hata sinyalleri açıkça elde edilebilecek şekilde birbirlerinden ve muayene parçasının uçlarından yeterince uzakta olmasının gerektiği vurgulanır. Alternatif olarak da kalibrasyon borusunun tek bir delikle oluşturulabileceği ve kalibrasyonun deliğin 0°, 90°, 180° ve 270° tutularak test sisteminden geçirilebileceği söylenir. Son söylenen yöntem pratikte oldukça zor ve zaman alıcıdır. 3 delikle oluşturulan kalibrasyon borusu ile de, borunun merkezlemesi uygulamalarda pek çok zorluğu beraberinde getirmektedir. Bunların yerine pratik uygulamamızda geliştirilen 4 ve 6 delikli kalibrasyon boruları çok daha kolay ve doğru merkezleme olanağı sağlamaktadır. Belirtilen çaplardaki borunun uçlarına açılan 2 delik ile boru giriş ve çıkışlarındaki test edilemeyen boru başı ve boru sonları kontrol edilirken, diğer 4 delik ile tam bir merkezleme sağlanır. Şekil 3'de örnek bir kalibrasyon borusu gösterilmiştir.



Şekil 3. Kalibrasyon borusu.



Şekil 4'de 6 delikli bir kalibrasyon borusu ile merkezlemenin ve cihaz ayarlarının yapılışı gösterilmiştir. 1. testte kazanç oldukça yüksek ve filtre oldukça geniş tutulmuştur. 2. testte filtre bir miktar daraltılmıştır. 3. testte kazanç daha da düşürülerek sinyaller ekran yüksekliğinin %80-90 değerine çekilmiştir. Kalibrasyon borusunun 3 kez sistemde test edilmesiyle tüm ayarlar yapılmış olur. 4.ve 5. test sonuçları imalattan gelen 2 sağlam borudan alınmıştır.



Şekil 4. 6 delikli bir kalibrasyon borusu ile test sisteminin ayarlanması.

Kalibrasyon kontrolleri yapılırken, kalibrasyon esnasındaki hız ile imalat esnasındaki hızın ve sistem ayarlarının aynı olmasına dikkat edilmelidir. Kalibrasyon kontrolleri en az dört saatte bir sıklıkta yapılmalıdır. Ayrıca operatör değişimlerinde ve imalatın başlangıcında ve sonunda da kalibrasyon kontrolü yapılmalıdır. Başlangıç kalibrasyonu sırasında kullanılan parametrelerden herhangi biri değiştirildiğinde cihaz yeniden kalibre edilmelidir.

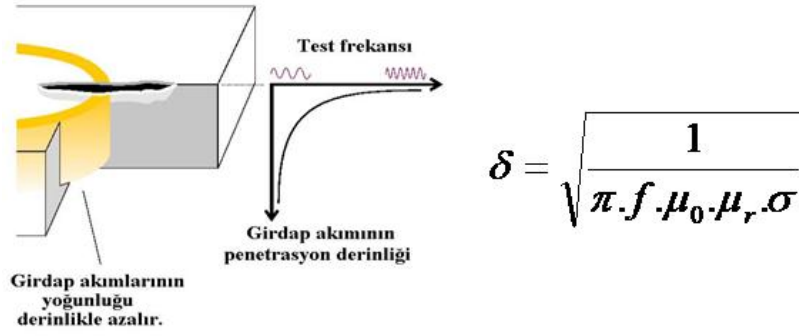
#### 4. SİSTEM AYAR PARAMETRELERİ

Boyuna dikişli çelik boruları için girdap akımı test cihazlarında yer alan sistem parametreleri frekans, doluluk oranı, kazanç, filtre, faz açısı ve eşik seviyeleri olarak 6 ana kısma ayrılabilir.

##### 4.1 Frekans (kHz)

Frekans, alternatif akımın frekansına bağlı olarak malzemenin içerisinde inilebilecek derinliği, diğer bir deyişle de penetrasyon derinliğini belirleyen en önemli test parametresidir. Şekil 5'de gösterildiği üzere girdap akımı frekans arttıkça, girdap akımları yüzeye doğru yoğunlaşırken, frekans azaldığında derinlere doğru iner. Ancak derinlere inildikçe alınan sinyal büyüklüğü azalır ve dolayısıyla testin duyarlılığı da azalmış olur.

Girdap akımlarının malzeme içerisine etkin olarak girebildiği mesafe penetrasyon derinliği olarak adlandırılır. Standart penetrasyon derinliği girdap akımı yoğunluğunun yüzeydeki değerinin  $1/e$  (%37) sine düştüğü derinliktir ve aşağıdaki formülle hesaplanır. Bu, aynı zamanda deri derinliği olarak da bilinir. Pratikte 5 penetrasyon derinliğinde girdap akımı yoğunluğu yüzeydeki değerinin % 0.7 sine düşer [3].



Şekil 5. Test frekansının penetrasyon derinliğine etkisi

$\delta$  : Standart penetrasyon derinliği (mm),  $\sigma$  : Malzemenin kondaktivitesi,  
 $f$  : frekans ( hertz ),  $\mu_r$  : relatif permeabilite,  $\mu_0$  : Boşluğun permeabilitesi'dir.

Malzemenin test edilmek istenen kalınlığı ve malzeme özellikleri bilindiği takdirde hangi frekansın kullanılması gerektiği yukarıdaki formülden hesaplanabilir. Aynı zamanda belirli malzemeler için hazırlanmış frekansa bağlı penetrasyon derinliğini gösteren tablo ve grafikler de kullanılabilir. Çelik boruların testlerinde test frekansları min. 1 kHz, maks. 250 kHz aralığında seçilmektedir. Boru kontrollerinde et kalınlıkları göz önüne alınarak t=5...6mm için 5kHz., t=2...3mm için 10kHz., t=0...2,5mm için 20 kHz değerleri tercih edilir. Döner sistemlerde yüzey kontrolleri amacıyla 250 kHz test frekansı kullanılır.

#### 4.2 Doldurma Faktörü ( $\eta$ )

Bu terim test parçasının bobini ne kadar iyi doldurduğunu ölçer. En büyük sinyaller malzemenin bobini tamamen doldurduğu durumlarda elde edilir. Boru dış çapının karesinin bobinin iç çapının karesine oranıdır. Doldurma faktörü 0,5....1 arasında tercih edilmelidir [5]. Bobin iç çapı boru dış çapından 7mm'den daha büyük olmamalıdır.

#### 4.3 Kazanç (dB)

Kalibrasyon borusundaki delik sinyallerinin genliği ekran yüksekliğinin minimum %50'sine getirecek şekilde artırılıp azaltılan bir değerdir. Kazancın çok fazla olması gürültü sinyallerine artırır, az olması da var olan hataların tespit edilememesine yol açar. Pratikteki uygulamalarda kalibrasyon deliklerinden gelen sinyallerin ekran yüksekliğinin %80'ine getirilmesi tavsiye edilir. Bu artış tamamen test hassasiyetinin artırılmasını sağlamaktadır. Bu amaçla 2-3 dB'lik bir artış öngörülebilir. Standart girdap akımı cihazlarında kazancın 6dB'lik artışı sinyal yüksekliğini 2 katına çıkaracağı benimsenmiştir.

#### 4.4 Filtre

Hata sinyallerinin çevreden gelen ve gürültü olarak adlandırılan sinyallerden arındırılması amacıyla sinyaller filtrelenir. Filtre uygulamalarındaki esas nokta, kalibrasyon deliklerinden gelen hata sinyallerinin net bir şekilde diğer sinyallerden ayırt edilmesidir. Pratikte, sinyal-gürültü oranı 3 olarak alınır. Filtre ayarları bu oranı sağlayacak şekilde yapılır. Pratikteki uygulamalarda filtreler hat hızına

(m/dak) bağı olarak ayarlanır. Filtreleme çok önemlidir ve mutlaka imalat hattı üzerinde deneyler sonucunda yapılmalıdır.

#### 4.5 Faz Açısı (0 - 360°)

Faz açısı alarm maskeleye uygulamalarında hata sinyallerinin döndürülmesi amacıyla kullanılır. Girdap akımları prensip gereği farklı özelliklerden farklı açılarda ekrana yansır. Örneğin yüzey sinyalleri ile hata sinyalleri farklı açılarda oluşur. Maskeleye uygulamaları yapılarak bazı sinyaller değerlendirme kriterleri içerisine alınırken bazıları değerlendirme dışında bırakılabilir.

#### 4.6 Eşik Seviyeleri

Hata sinyallerini büyüklüklerine göre kategorilere ayırmak amacıyla kullanılır. Standart eşik seviyeleri %30, %50 ve %80 alınarak imalat kalitelerine göre 3 farklı kategoriye ayrılabilir. Bu kategoriler iyi, orta ve kötü kalite olarak isimlendirilebilir. Pratik uygulamalarda yalnızca 1 eşik seviyesi belirlenir. Örneğin eşik seviyesi %50'ye ayarlandığında hata sinyalinin büyüklüğü %50'yi geçtiğinde boru ıskarta, altında kaldığında ise sağlam olarak değerlendirilir.

### 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ülkemizde mevcut çalışan online ve offline boyuna dikişli boru test sistemlerinde yapılan deneysel çalışmalardan bazı örnekler aşağıda verilmiştir. Şekil 6'da offline test sisteminden alınan istatistiksel veriler görülmektedir.

Statistics

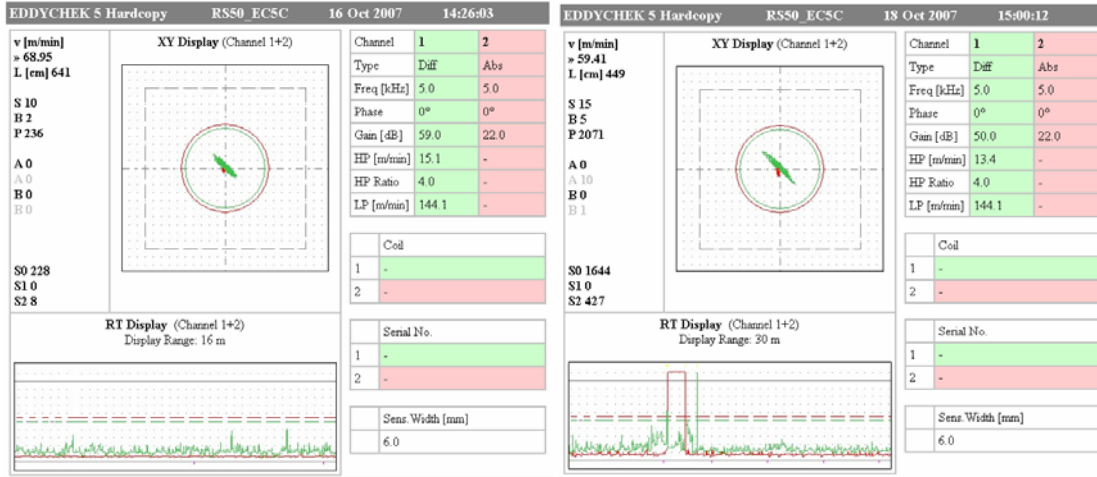
	Sort classes				Total	Total defects
	S0	S1	S2	S3		
Len (sum)	322.91 m	0.00 m	23.93 m	0.00 m	346.84 m	SA=1
Len (perc.)	93 %	0 %	7 %	0 %	---	SB=0
Parts (sum)	54	0	4	0	58	SC=9
Parts (perc.)	93 %	0 %	7 %	0 %	---	SD=0

Test report

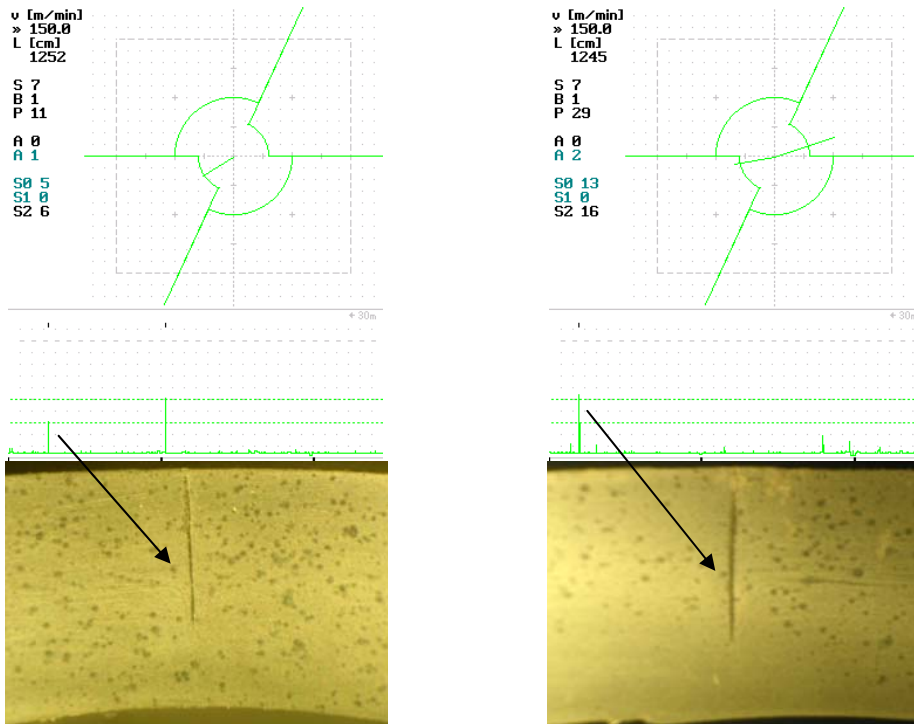
No.	Defect location report ("Inline Application")	Sort	Length	SA	SB	SC	SD	Date	Time
58		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:54:36
57		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:54:44
56		2	5.99 m	0	0	2	0	13/09/2007	08:54:32
55		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:54:20
54		0	5.97 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:54:08
53		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:53:56
52		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:53:44
51		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:53:32
50		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:53:20
49		2	5.98 m	0	0	1	0	13/09/2007	08:53:08
48		2	5.98 m	0	0	1	0	13/09/2007	08:52:56
47		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:52:44
46		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:52:31
45		0	5.99 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:52:19
44		0	5.97 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:52:07
43		0	5.99 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:51:55
42		0	5.98 m	0	0	0	0	13/09/2007	08:51:43

Şekil 6. Örnek vardiya ve parti istatistikleri

Uygun yazılımlarla imal edilen tüm boruların boy ve adet olarak istatistiksel durumu kayıt altına alınabilir. Hata yeri raporlama yazılımları ile tespit edilen hatalar boru üzerinde simüle edilerek kalite kontrol amaçlı faydalı bilgiler elde edilebilir. Şekil 7 ve 8'de online ve offline test sonuçlarından bazı örnekler verilmiştir.



Şekil 7. a) Online kontrollerde normal imalat, b) kalibrasyon deliği ve açık kaynak



Şekil 8. Offline boru kontrollerinde hata tespiti (Boru çapı 125,7mm, hız 150m/dak, t:4,4mm, Malzeme: 1.4462 D7, test frekansı: 5kHz, Kazanç: 62dB).

## KAYNAKÇA

1. Şirin, K., Şirin, Ş. ve Kaluç, E., Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynaklı Borularda Yöntem Parametrelerinin Kaynak Dikiş Özelliklerine Etkisi, Kaynak Teknolojisi 1.Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 137-147, 1997
2. TS EN 10246-3- Türk Standartları, Çelik Boruların Tahribatsız Muayenesi Bölüm 3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2005
3. Epik, Ö., Epik, H. ve Karadeniz, S., Girdap akımları yöntemi ile boru testi, Malzeme Bilimi ve Üretim Yöntemleri Sempozyumu, İzmir, 2003
4. Günay, H., Prüftechnik Girdap akımı eğitim notları, Bursa, 2001
5. Schiebold, K., Knöll, T., Defectoscopy Using Eddycurrents. Wuppertal, 2006