

# اهمیت روش های تست های غیر مخرب پیشرفته در صنایع نفت و انرژی

مسعود وکیلی<sup>۱</sup>، حسین بلوری<sup>۲</sup>

گروه بهمن، کیلومتر ۱۶ جاده قدیم تهران - کرج

Msd.Vakili@Gmail.com

## چکیده

امروزه با توجه به پیشرفت صنعت نفت و انرژی، تست تجهیزات و سازه ها با توجه به هزینه های ساخت، نصب، راه اندازی و نگهداری در صنایع نفت و انرژی نسبت به گذشته از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. ازین رو تکنیک اندازه گیری میدان جریان متناوب<sup>۳</sup> که روش بازرسی الکترومغناطیسی است، در چند سال اخیر بطور وسیعی جهت کشف و اندازه گیری ترک های سطحی در بازرسی سکوهای ساحلی و فراساحلی نفت و گاز، زیر و روی آب، مخازن تحت فشار، تانک های ذخیره، تجهیزات رادیواکتیو و سازه های دارای پوشش رنگ مورد استفاده قرار گرفته است. بازرسی با روش ACFM نیازی به پاکسازی سطح از قبیل رنگبری و زنگبری ندارد و امکان بازرسی از روی پوشش و یا آلودگی های ناشی از محیط را دارد، ازین رو به عنوان یکی از روش های تست های غیرمخرب پیشرفته شناخته شده است. قابل توجه است که با توجه به سرویس دهی تجهیزات در دماهای بالا در صنایع نفت و گاز، این روش امکان بازرسی در حین سرویس دهی را در دمای بالا فراهم نموده است. در این مقاله با معرفی روش تست و تجهیزات مورد نیاز جهت بازرسی سازه و تجهیزات، به چگونگی کشف و اندازه گیری عیوب و همچنین مقایسه روش های بازرسی مختلف با روش فوق از لحاظ دقت آزمون و کارایی و هزینه های بازرسی پرداخته خواهد شد.

واژه های کلیدی: میدان مغناطیسی، پراب، ACFM، کیفیت، جوش، هزینه بازرسی

۱- کارشناس مکانیک- ساخت و تولید

۲- دانشجوی کارشناس ارشد مکانیک- انرژی تجدید پذیر (Heriot-Watt University of Scotland)

<sup>3</sup> Alternating Current Field Measurement (ACFM)

## ۱- مقدمه

در اواسط دهه ۸۰ میلادی بر اساس نیاز یک شرکت نفتی مبنی بر تشخیص و تعیین عمق ترک های ناشی از خستگی در سازه های جوشکاری شده در زیر آب های دریای شمال و با توجه به عدم ایجاد برقراری تماس الکتریکی کافی و همچنین عدم امکان آماده سازی سطح مورد آزمون ، روش بازرسی اندازه گیری میدان جریان متناوب به کمک دپارتمان مهندسی مکانیک دانشگاه لندن و کمیته ای متشکل از شرکت های نفتی بریتانیا ابداع و اولین دستگاه تجاری آن در سال ۱۹۹۱ ساخته شد. [۱] روش بازرسی اندازه گیری میدان جریان متناوب از دو بخش اصلی ، نرم افزار و سخت افزار تشکیل شده است. بخش سخت افزار متشکل از یک پراب قابل حمل با دست، به همراه دو حسگر مغناطیسی و یک سیستم القاء کننده جریان الکتریکی است که اطلاعات و سیگنالها از پراب بطور مستقیم به کمک کابل های اتصال به یک کامپیوتر دستی، ارسال می شود و سیگنالهای دریافتی به کمک نرم افزار مربوطه پایش شده و با ترسیم نمودار ، تشخیص عیوب و همچنین اندازه گیری آن صورت می پذیرد. [۲]

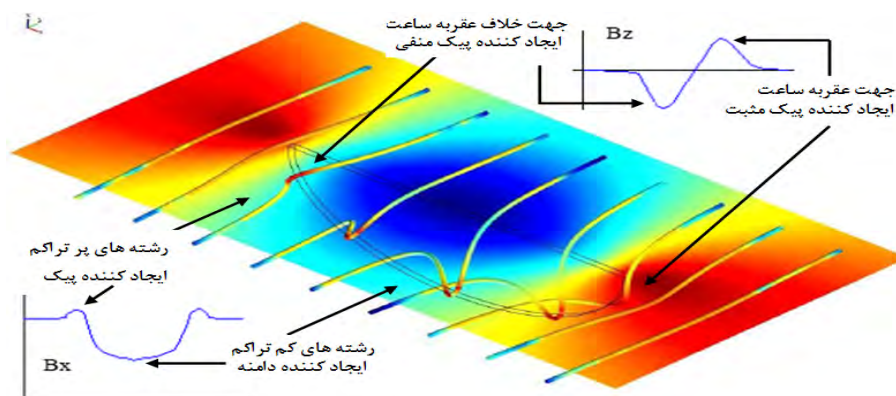
## ۲- روش اندازه گیری

روش بازرسی ACFM بر اساس جریان متناوبی که بصورت موضعی و متحدالشکل بر روی لایه ی نازکی از سطح مورد آزمون با فرکانسی در حدود  $10^4$  هرتز جاری می شود ، انجام می پذیرد. هنگامی که عیب بر روی سطح قطعه کار وجود داشته باشد ، جریان منحرف و از حالت متحدالشکلی خارج می شود و در نهایت رشته های مغناطیسی به سمت عمق و دو انتهای ترک متمایل می شوند.

رشته های مغناطیسی که عمود بر جریان الکتریکی هستند ، در حالت بدون عیب موازی با سطح قطعه کار تشکیل می شوند. این رشته ها در مقابل ترک مختل و منحرف می شوند و چگالی آنها در قسمت مرکز ترک ، کمتر و در دو انتهای ترک، بیشتر می شود.

جهت کنترل نتایج حاصله از سیگنالهای دریافتی از پراب از نرم افزاری استفاده می شود که با ترسیم نمودارهای  $B_x$  و  $B_z$  اندازه گیری و پایش صورت می گیرد. نمودار  $B_x$  نشان دهنده میزان این انحراف می باشد که میزان کاهش  $B_x$ ، عمق ترک را نشان می دهد.

بخشی از اختلال و انحراف رشته های مغناطیسی ، میدان های دایروی شکلی در دو انتهای ترک تشکیل می دهند که نمودار  $B_z$  نشان دهنده میزان این انحراف می باشد. در یک طرف ترک میدان در جهت عقربه ساعت و در طرف دیگر در خلاف جهت عقربه ساعت تشکیل و موجب ایجاد سیگنال های مثبت و منفی می شود که فاصله بیشترین و کمترین سیگنال  $B_z$ ، طول ترک را مشخص می کند. (شکل ۱) [۳]



شکل ۱- فلوی جریان ACFM اطراف یک عیب

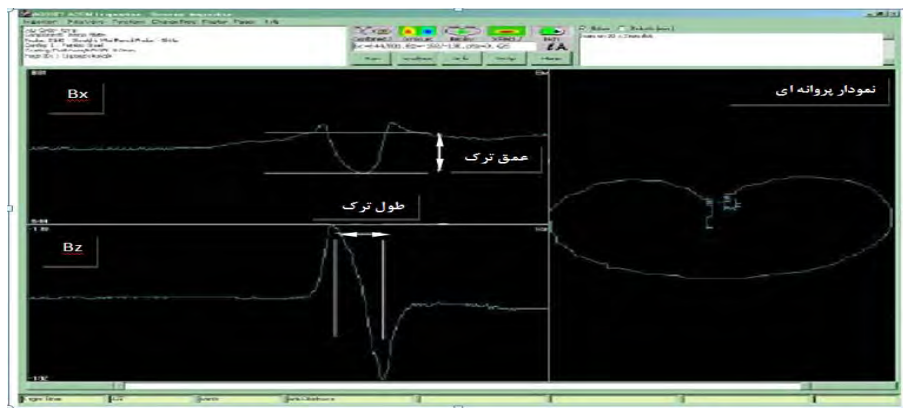
به بیان دیگر تعیین اندازه عیوب تنها با اندازه گیری دو پارامتر مشخص می شود:

- میزان کاهش درصد Bx در مرکز ترک

- فاصله بین بیشترین و کمترین سیگنال در Bz

نرم افزار مربوط به بازرسی، چندین ردیف از مجموع اطلاعات دریافت شده از پراب را نشان می دهد. قسمتی از صفحه نرم افزار، نمودار Bx که عمق ترک با توجه به دامنه پیک محاسبه می شود را نشان می دهد و قسمت دیگری از نرم افزار، نمودار Bz که طول ترک بر اساس فاصله بین شروع و پایان پیک محاسبه می شود را نشان می دهد. (شکل ۲)

نرم افزار، نمودار متشکل از Bx و Bz که در مقابل هم قرار دارند، را که اصطلاحاً نمودار پروانه ای<sup>۱</sup> نامیده می شود، در قسمتی از صفحه خود نشان می دهد. هنگامی که عیبی بر روی سطح قطعه کار وجود دارد، نمودار بصورت حلقه ای که شبیه شکل پروانه بر روی پرده نمایش است، ترسیم می شود و اپراتور با کمک این نمودار وجود و عدم وجود عیب را بر روی سطح قطعه کار متوجه می شود. [۳]



شکل ۲- نمایش سیگنالهای ACFM در مقابل عیوب

### ۳- روش بررسی عیوب

در این بخش از مقاله به چگونگی اندازه گیری ابعاد ترک توسط ACFM پرداخته خواهد. محاسبه اندازه ترک از طریق دو سیستم صورت می پذیرد، که یک بخش از آن با تبدیل اطلاعات به سیستم باینری در ویندوز و بخش دیگر از طریق محاسبه مساحت نمودار پروانه ای صورت می پذیرد. در منحنی Bz اگر فرض بر این باشد که عدد ۱ در سیستم باینری نشان دهنده افزایش Bz و عدد صفر در سیستم باینری نشان دهنده کاهش Bz، می توان یک دسته از صفر و یک را در راستای حرکت پراب و وجود عیب مانند ۰۰۰۰۱۱۱۱ مشاهده کرد. هنگامی که حرکت در جهت عکس حرکت ابتدایی باشد اعداد صفر و یک نیز در جهت عکس، مانند ۱۱۱۱۰۰۰۰ قرار خواهد گرفت. در روش دیگر، با کمک از نمودار پروانه های، که از عمود نمودار Bx و Bz تشکیل شده است جهت اندازه گیری ترک استفاده می شود. با فرض انتخاب دو نقطه i و i+۱ بر روی نمودار پروانه ای که با نشان A و B نام گذاری شده است و با در نظر گرفتن زاویه ای  $\alpha$  که نسبت به محل تقاطع دو نمودار تشکیل شده است، مساحت ناحیه ای که از ایجاد نقاط A، B و مرکز نمودار بوجود می آید، با استفاده از رابطه ۱ و مساحت کل نمودار پروانه ای با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود. (شکل ۳)

$$\pi(x^2 + z^2) \frac{\alpha}{360} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i^2 + z_i^2) \frac{\alpha_i}{360} \quad (2)$$

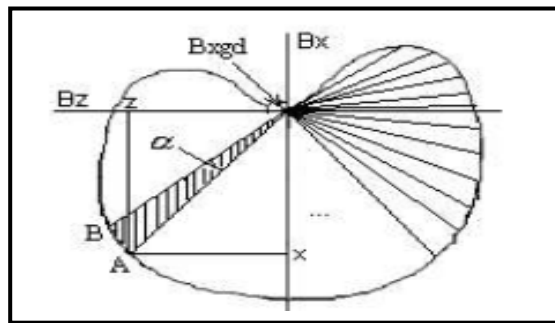
<sup>۱</sup>Butterfly Plot

با فرض برقرار بودن رابطه ۳ و محاسبه رابطه ۴ و با در نظر گرفتن حداقل میزان انحراف در نمودار پروانه ای و مقایسه با میزان بدست آمده از رابطه ۴ می توان وجود ترک را متوجه شد.

$$\frac{\alpha_i}{360} = \frac{\alpha_{i+1}}{360} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i^2 + z_i^2) \quad (4)$$

اگر هر دو سیستم اندازه گیری وجود ترک را نشان دهند، می توان با کمک تعداد دسته های باینری صفر و یک، سرعت حرکت پراب، نرخ مخابره سیگنال ها و همچنین اطلاعات بدست آمده از نمودار پروانه ای طول ترک را محاسبه نمود. [۴]



شکل ۳ - تعیین نقاط جهت محاسبه مساحت نمودار پروانه ای

#### ۴- بازرسی در دماهای بالا

بازرسی ماشین آلات و یا تجهیزات که در دمای بالا سرویس می دهند با مشکلات و صرف هزینه های زیادی همراه خواهد بود. با این وجود روش بازرسی ACFM با دارا بودن پراب مخصوص که در برابر گرما و حرارت مقاوم است، این امکان را می دهد که بازرسی تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد (۹۳۰ درجه فارنهایت) و یا بیشتر، در زمان طولانی انجام پذیرد. بازرسی با این روش این امکان را می دهد که بدون نیاز به از سرویس خارج کردن تجهیزات و یا ماشین آلات، بازرسی به سهولت انجام شود، که در این صورت هزینه های بازرسی بطور چشمگیری کاهش خواهد یافت. [۵]

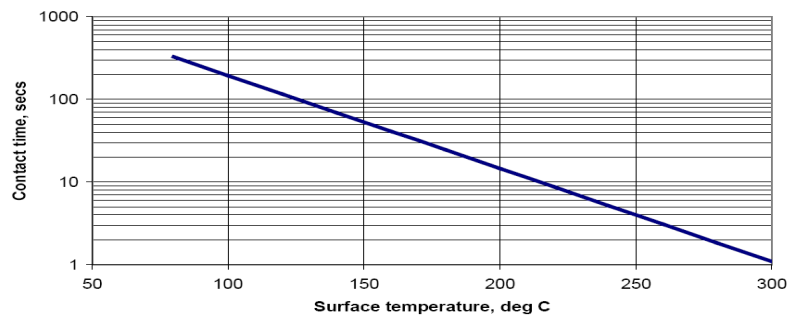
بازرسی در دماهای بالا شامل موارد ذیل می باشد:

- بازرسی لوله های گرم استفاده شده در پلنت های پتروشیمی.
  - مانیتور کردن محل های از دیگ های بخار و لوله های که مستعد عیوب هستند، توسط پراب های که بطور دائم در محل نصب شده اند.
  - بازرسی جوش های بین پاسی و محل های جوش بعد از عملیات حرارتی بدون نیاز به خنک شدن محل.
- در پراب های استاندارد معمولی تا زمانی که قطعات الکترونیک داخل پراب از دمای ۸۰ درجه سانتیگراد تجاوز نکنند امکان بازرسی در دماهای بالا وجود دارد. ازین رو پراب های استاندارد معمولی ACFM تنها برای مدت زمان کوتاهی در دماهای بالا قابلیت استفاده را دارند. [۶]

دماغه سرامیکی در سر پراب از گرم شدن حسگر های پراب جلوگیری می کند و قسمت سنسور های پراب را از منطقه گرما محافظت می کند. پراب های استاندارد معمولی می تواند قطعات را با دمای سطحی ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد در مدت زمان کوتاهی بازرسی کند که پراب با توجه به افزایش دمای سطح مورد بازرسی قابلیت تحمل کمتری در زمان را خواهد داشت. دامنه و آستانه تحمل پراب معمولی با توجه به دمای سطح نسبت به زمان در شکل ۴ نشان داده شده است.

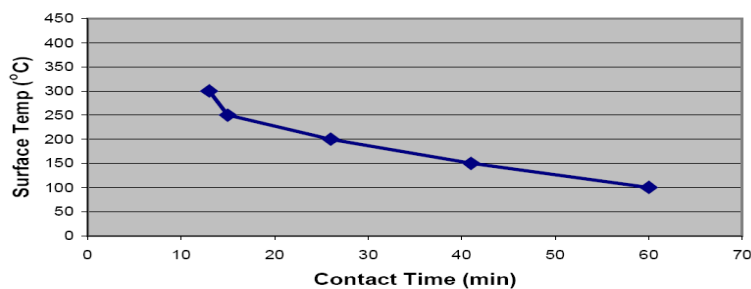
بازرسی در دماهای بالا به پراب مخصوصی که دارای سنسورهای از جنس نیکل با عایق های مقاوم به گرما هستند، نیاز دارد که این نوع طراحی امکان بازرسی را تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به اپراتور می دهد. پراب های مخصوصی که برای

بازرسی در زیر آب طراحی شده اند تا دمایی حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد توانایی بازرسی دارند و در دمای بالاتر امکان بازرسی در زیر آب وجود ندارد.

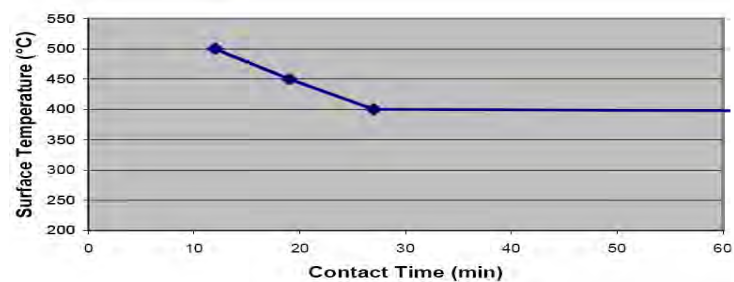


شکل ۴- آستانه تحمل پراب معمولی (دمای سطح نسبت به زمان)

دو نوع پراب برای بازرسی در دماهای بالا وجود دارد که دارای سیستم خنک کننده با هوا و بدون سیستم خنک کننده است. شکل ۵ و ۶ زمان های لازم جهت بازرسی بر اساس دمای سطح قطعه کار را در هر دونوع پراب نشان می دهد [۷]



شکل ۵- آستانه تحمل پراب بدون سیستم خنک کننده (نسبت دمای سطح به زمان)



شکل ۶- آستانه تحمل پراب با سیستم خنک کننده هوا (نسبت دمای سطح به زمان)

## ۵- بازرسی مخازن و پلنت ها<sup>۱</sup> در سکو های ساحلی و فرا ساحلی

جهت آگاهی از خوردگی و ایجاد شدن ترک در پلنت های فرآیندها، به خصوص مخازن تحت فشار ، پلنت ها را در پریوده های زمانی مشخصی مورد بازرسی قرار می دهند.

پلنت ها عموماً دارای پوششی (بعنوان مثال : رنگ ، مواد اپوکسی و مواد اکسیدی) به جهت مقاومت در برابر خوردگی هستند ، ازین رو بازرسی آنها نیازمند از بین بردن پوشش می باشد و در برخی مواقع بعلت دمای بالای تجهیزات نیازمند از سرویس خارج کردن آنها می باشد. با کمک روش ACFM می توان بدون نیاز به برداشت پوشش و یا عایق و همچنین در حین

سرویس دهی تجهیز بازرسی پلنت ها صورت گیرد و برای سازه های زیر آب نیز بدون نیاز به برداشت پوشش و یا ناخالصیهای موجود بر روی تجهیزات بازرسی صورت پذیرد.

با کمک روش ACFM می توان براحتی و بدون نیاز به هیچ آماده سازی سطحی، بازرسی جوش ورق های کف مخازن ذخیره صنایع پتروشیمی را انجام داد، که این توانایی باعث افزایش سرعت بازرسی و کاهش هزینه های مربوط به بازرسی خواهد شد. بعنوان مثال جهت بازرسی ۲۰۰ متر از جوش مخزن تحت فشار رنگ شده با روش بازرسی به کمک ذرات مغناطیس، ۶ روز زمان لازم است، در صورتی که با روش ACFM تنها ۱،۵ روز زمان لازم است. (شکل ۷) [۸]



شکل ۷- بازرسی کف مخازن بدون رنگ بری و. رنگ بری

در بازرسی مخازن کروی شکل با روش ACFM امکان بازرسی بدون نیاز به نصب داربست با کمک پراب سیار و همچنین دو بازرسی براحتی وجود دارد، در صورتی که در مقایسه با روش بازرسی به کمک ذرات مغناطیس می بایستی حتما داربست نصب شود و تجهیزات همراه با بازرسی به قسمت بالای مخزن حمل شود که این موضوع مشکلات زیادی را به جهت بازرسی برای بازرسی ایجاد می کند، در صورتی که در روش ACFM نیاز به حمل تجهیزات نیست و بعلت عدم نیاز به نصب داربست، کاهش هزینه چشمگیری را به همراه خواهد داشت [۸]

در صنایع نفت و گاز جهت بازرسی لوله های حفاری و رزوه های اتصالات بعلت عدم نیاز به آماده سازی و پاکسازی سطح آنها می توان از روش ACFM استفاده کرد. در گذشته بازرسی با روشهای مایع نافذ و روش ذرات مغناطیسی صورت می پذیرفت که با توجه به عدم دقت کافی این روشها امکان مشاهده و تشخیص دقیق عیب وجود نداشت و عیب و یا ترک منجر به ایجاد شکست در اتصالات می شد ، بازرسی رزوه های داخلی اتصالات با روشهای ذکر شده بسیار مشکل بوده و از آنجایی که داخل رزوه تاریک است و امکان مشاهده مستقیم و راحت وجود ندارد، بازرسی عملا امکان پذیر نیست . امکان بازرسی رزوه ها در سایز های مختلف در این روش با کمک کفشک ها که قابلیت تعویض بر روی پراب معمولی دارند ، وجود دارد. [۹]

## ۶- مزیت های روش ACFM نسبت به روشهای دیگر

- مزایای بازرسی به روش ACFM شامل موارد زیر می باشد:
- کاهش هزینه تا ۷۰ درصد نسبت به روش های دیگر بازرسی.
- قابل استفاده در سطوح پوشش دار.
- احتمال بالای تشخیص عیوب جزئی.
- کاهش نرخ خطا.
- نتایج و گزارشات قابلیت آدیت دوره ای دارند.
- از مواد غیر سمی و غیر قابل اشتعال استفاده می کند..

روش ACFM در مواقع ای که نیاز به سرعت ، هزینه پایین و آزمون غیر مخرب است ، مورد استفاده قرار می گیرد و سرعت بازرسی آن نسبت به روش بازرسی ذرات مغناطیس ۲ الی ۳ برابر می باشد.

عوامل موثری که بر کاهش هزینه های بازرسی در روش ACFM وجود دارد، این است که برای بازرسی نیاز به حذف پوشش نیست و همچنین تنها یک اپراتور می تواند بازرسی را به همراه پایش و اندازه گیری عیوب انجام دهد.[۱۰]

## ۷- مطالعه موردی

در مورد مطالعاتی ۱۰۰ قطعه با طول جوش های یک متری و با وجود یک ترک به عمق ۱ میلی متر در هر قطعه، در شرایط محیطی یکسان با پوشش رنگ و بدون پوشش رنگ انتخاب شده اند. این ۱۰۰ قطعه توسط دو روش بازرسی ذرات مغناطیسی و روش ACFM مورد بازرسی قرار گرفته اند که نتایج بازرسی ها از لحاظ هزینه ی بازرسی و زمان مورد نیاز در جدول ۱ لیست شده است.[۱۰]

جدول ۱- مقایسه روش MPI با روش ACFM

روش MPI بدون پوشش رنگ	روز(۸ساعت کاری)	نرخ	هزینه(یورو)
رنگ زدایی(۱۵۰ میلیمتر در هر دو طرف جوش)	۲	۱۵۰	۳۰۰
بازرسی با یوک	۳	۲۰۰	۶۰۰
اندازه گیری عمق ترک (ACPD یا UT)	۲	۳۵۰	۷۰۰
مجموع			۱۶۰۰
روش MPI با پوشش رنگ			
رنگ بری (۱۵۰ میلی متر از هر دو طرف جوش)	۴	۱۵۰	۶۰۰
بازرسی با یوک	۳	۲۰۰	۶۰۰
اندازه گیری عمق ترک (ACPD یا UT)	۲	۳۵۰	۷۰۰
رنگ کاری مجدد (دولایه رنگ)	۲	۱۵۰	۳۰۰
مجموع			۲۲۰۰
روش ACFM در هر دو حالت			
جمع آوری اطلاعات ، ۳ پاس (هر جوش / ۵۰ ثانیه)	۱.۵	۴۰۰	۶۰۰
آنالیز اطلاعات و اندازه گیری عیوب (هر جوش / ۱۲۰ ثانیه)			
نقل و انتقال تجهیزات به جوش بعدی (هر جوش / ۱۲۰ ثانیه)			
مجموع			

## ۸- نتیجه گیری

با توجه به بررسی ها و تحقیقات انجام شده روش ACFM نسبت به روشهای دیگر تست های غیر مخرب، یک روش بسیار کاراست که با در نظر داشتن شرایط ذکر شده، از قبیل تشخیص و اندازه گیری ساده عیوب در شرایط کاری مختلف و همچنین بهینه نمودن هزینه های بازرسی، می تواند جهت اطمینان از کیفیت کلیه محصولات فلزی در صنایع مختلف بسیار مفید واقع شود.

## ۹- فهرست علائم

$X$	فاصله نقطه متناظر A بر روی نمودار Bx تا مرکز، mm
$Z$	فاصله نقطه متناظر A بر روی نمودار Bz تا مرکز، mm
$\alpha$	زاویه بین دو نقطه A و B ، درجه
$n$	تعداد نقاط روی نمودار پروانه ای

## مراجع

- [1] Martin C. Lugg. , "the first 20 year of the A.C field measurement technique", 18<sup>th</sup> world conference on nondestructive testing, Durban, South Africa, 2012.
- [2] Michael C. Smith, "ACFM inspection procedure for U31 and QFMU", United Kingdom. TSC inspection system, 2003.
- [3] Martin C.Lugg. , "Application of ACFM for weld inspection by ROV", Singapore international NDT conference & exhibition, Singapore, 2011.
- [4] Jiannong Zhou, Brian Stephen Wong, Gerald G. L. Seet, "An ACFM automated detection system developed by an underwater roving vehicle" PhD thesis, Nan yang technological University, Singapore
- [5] Marques, F.C, M.Martins, D.A. Topp, "experiences in the use of ACFM for offshore platform inspection in Brazil", 15th world conference on NDT, Rome, Italy, 2000.
- [6] D.Topp, "Specifications for ROV deployed ACFM", UK, TSC inspection system, 2007.
- [7] TSC, "High Temperature ACFM inspection", UK, TSC inspection system, 2003.
- [8] Bajula.D, "ACFM in lieu of WFMT inspection", ASNT fall conference, Huston, 2006
- [9] R Letister, A. R.W.Coade, B. B.Geneve, C, "Sizing of cracks using the alternating current field measurement technique", International journal of pressure vessels and piping, Vol 42, 549-554, 2002.
- [10] TSC, "ACFM for manual weld inspection", UK, TSC inspection system, 2003.