

## آزمایش مقره‌ها

به طور کلی سه دسته آزمایش بر روی مقره‌ها انجام می‌گیرد:

۱. Type Test: که فقط روی سه عدد مقره انجام می‌گیرد و صرفاً به خاطر بررسی مشخصات الکتریکی یک مقره است که اساساً بستگی به شکل مقره و جنس و ابعاد آن به طور کلی به طراحی مقره بستگی دارد. این آزمایش‌ها را فقط یک بار برای تأیید صحت طراحی مقره‌ها و مقایسه نتایج حاصل با مقادیر تعیین شده توسط استانداردها انجام می‌دهند. به این آزمایش‌ها، آزمایش‌های تخلیه یا آزمایش‌های جرعه نیز می‌گویند (Flashover Test).

۲. Sample Test (آزمایش‌های نمونه): این آزمایش‌ها بر روی تعدادی از مقره‌ها که به صورت کاملاً اتفاقی انتخاب می‌شوند، انجام می‌گیرد و به منظور بررسی مشخصات مقره و کیفیت موارد مورد استفاده در آن‌ها است و در حقیقت معیاری برای پذیرش کیفیت مقره‌های تولیدی یک تولیدکننده است.

۳. Routine Test (آزمایش‌های معمول): این آزمایش‌ها بر روی تک تک تمام مقره‌های تولید شده در خط تولید شده در خط انجام می‌گیرد و به منظور خارج شدن مقره‌هایی که احتمالاً در جریان ساختن آن اشکالی به وجود آمده می‌باشد. بدین طریق مقره‌های کاملاً معیوب از خط تولید خارج می‌شوند [۱،۷،۹،۱۹].

### Type Test بر طبق استاندارد بین‌المللی IEC

گروه اول آزمایش‌ها شامل آزمایش‌های زیر است [۱۳]:

۱. آزمایش استقامت در برابر ولتاژ ضربه ای، صاعقه در هوای خشک: این آزمایش در دو حالت انجام می‌شود:

الف) با موج ضربه ای مقاوم : برای هر مقره ای حداکثر دامنه موج ضربه ای استاندارد (که برای امواج صاعقه مدل می شود) باعث ایجاد جرقه بر روی سطح مقره نمی شود را استاندارد مشخص کرده است. البته مقادیر برای شرایط جوی استاندارد داده می شود. حالا اگر شرایط آزمایش از نظر فشار و درجه حرارت و میزان رطوبت متفاوت با شرایط استاندارد باشد ، باید مقادیر فوق را تصحیح نمود. در این آزمایش ۱۵ بار موج ضربه ای استاندارد به مقره به دفعات متوالی اعمال می شود. فاصله زمانی بین هر بار باید به اندازه کافی باشد تا اثر قبلی از بین رود. دامنه موج ضربه ای همان مقدار مشخص شده در استانداردها با ضریب تصحیح مربوطه است. اگر در این آزمایش، جرقه سطحی روی مقره زده نشود یا تعداد دفعات جرقه سطحی کمتر از ۲ بار باشد و سطح مقره ها آسیب کلی نبیند، این آزمایش جواب مثبت داده است. البته اثر جزئی جرقه روی سطح مقره (مثل خش انداختن) مجاز است [۹،۱۳].

ب) با موج ضربه ای با احتمال ۵۰٪ جرقه سطحی: دامنه موج ضربه ای استاندارد که با احتمال ۵۰٪ بر روی سطح مقره جرقه زده می شود در استانداردها مشخص شده است. برای یک مقره مورد آزمایش، موج ضربه ای استاندارد با دامنه تغییرات کیلو ولت نزدیک به سطح تقریبی ولتاژ جرقه ۵۰٪ انتخاب می شود. همچنین یک دامنه متغیر ولتاژ  $\Delta V$  که تقریباً ۳٪ از ولتاژ جرقه زنی است، انتخاب می گردد. حالا یک موج ضربه ای استاندارد با ولتاژ اولیه (۵۰٪ ولتاژ جرقه) به مقره اعمال می شود. اگر این موج سبب بروز جرقه سطحی روی مقره نگردد، دامنه موج ضربه ای بعدی باید به اندازه  $\Delta V$  افزایش یابد.

۲. آزمایش استقامت در برابر ولتاژ ضربه ای سوئچینگ در هوای مرطوب :

موج ضربه ای برای مدل کردن سوئچینگ، با موج ضربه ای صاعقه متفاوت است و زمان رسیدن به یک مقدار یک و نیم موج پشت آن خیلی بیشتر از موج ضربه ای صاعقه می باشد. در این حالت مقره تحت آزمایش ، زیر بارش یک باران مصنوعی قرار می گیرد. شدت بارش باران باید حداقل بین ۱ میلیمتر بر دقیقه تا ۲ میلیمتر بر دقیقه باشد و به صورت مورب با زاویه  $45^{\circ}$  بارش نماید. درجه حرارت محیط هم بین  $15^{\circ}C$  تا  $15^{\circ}C$  باشد و مقاومت مخصوص آن در  $20^{\circ}C$  باید  $100 \pm 15 m\Omega$  باشد.

مقره باید به مدت ۱۵ دقیقه قبل از شروع تست تحت بارش این باران قرار گیرد ، البته این زمان می تواند کمتر هم باشد ، مخصوصاً زمانی که تست های متوالی انجام می گیرد. در این جا نیز این آزمایش در دو حالت مختلف می تواند انجام بگیرد :

الف) با موج ضربه ای با احتمال ۵۰٪ جرقه سطحی : طریقه آزمایش مانند حالت هوای خشک است (با موج ضربه ای صاعقه) ولی دامنه موج ضربه ای ۵۰٪ بدست آمده از رابطه نباید کمتر از ۱/۰۸۵ برابر دامنه موج ضربه ای مقاوم تعیین شده در استاندارد برای موج ضربه ای مقاوم تعیین شده در استاندارد مربوط به شرایط جوی استاندارد است که برای شرایط آزمایشگاهی باید در ضرایب تصحیحی، اصلاح شود.

ب) با موج ضربه ای مقاوم : این آزمایش نیز با دامنه موج ضربه ای مقاوم تعیین شده در استاندارد برای ۱۵ بار تکرار می شود و اگر تعداد دفعاتی که جرقه سطحی روی مقره زده می شود بیشتر از ۲ بار نباشد این آزمایش جواب مثبت داده است. در این آزمایش نیز نباید سطح مقره ها آسیب کلی ببینند (اثرهای جزئی روی سطح مقره قابل پذیرش است) [۹،۱۳،۱۶].

۳. آزمایش استقامت در برابر ولتاژ با فرکانس صنعتی در هوای مرطوب

در این لحظه مقره نیز تحت آزمایش در یک شرایط باران مصنوعی مانند حالت قبل قرار می گیرد. متناسب با شرایط جوی زمان آزمایش از نظر فشار و درجه حرارت ، مقدار ولتاژ قابل استفاده مقره را بر اساس مقدار تعیین شده آن در استانداردها بدست می آوریم (با استفاده از ضرایب تصحیح). سپس یک ولتاژ در حدود ۷۵٪ ولتاژ فوق را به مقره اعمال می کنیم و سپس به تدریج و به آرامی با یک شیب در حدود ۲٪ ولتاژ فوق بر ثانیه ، ولتاژ را افزایش می دهیم تا به مقدار ۱۰۰٪ فوق برسد. سپس این ولتاژ را در حدود یک دقیقه بر روی مقره نگه می داریم. طی این آزمایش هیچ گونه جرقه سطحی یا سوراخ شدن مقره نباید اتفاق بیفتد. در این آزمایش می توان افزایش ولتاژ را هنوز ادامه دهیم تا جرقه سطحی حاصل شود. این آزمایش را ۵ بار تکرار می کنیم و مقدار متوسط ولتاژهای جرقه

سطحی را به عنوان ولتاژ جرعه هوای مرطوب در ولتاژ سینوسی با فرکانس های صنعتی تعیین کنیم. فرکانس موج سینوسی باید بین ۱۵ تا ۱۰۰ کیلو ولت باشد.

هر واحد مقره، نام تولیدکننده و سال تولید آن نوشته می شود. همچنین حداکثر قدرت مکانیکی مقره نیز بر روی آن نوشته می شود. مثلاً U300 مقره ۳۰۰ کیلونیوتنی است. شرایط استاندارد به صورت  $T = 20^{\circ}\text{C}$  و  $P = 760\text{mmHy}$  رطوبت  $\text{water/m}^3$  ۱۱۹ است. قبل از پرداختن به آزمایش هایی که بر روی مقره های نمونه انجام می گیرد، ساختمان مقره ها را بیان می کنیم، که به دو دسته تقسیم می شوند:

۱. نوع A: مقره هایی که طول یا ضخامت کوتاهترین مسیر موجود در داخل آن ها برای سوراخ شدن داخل بدنه مقره حداقل برابر با نصف طول کوتاهترین مسیر جرعه در هوای روی سطح مقره است.
۲. نوع B: مقره هایی که ضخامت داخل آن ها برای مسیر سوراخ شدن مقره کمتر از نصف طول کوتاهترین مسیر جرعه بر روی سطح مقره در هوا است [۹، ۱۳، ۱۶].

### آزمایش های روی مقره های نمونه طبق استاندارد (Sample Test IEC)

این تست برای محموله ای از یک نوع مقره با مشخصات یکسان از همه نظر که به وسیله خریدار از تولید کننده مقره خریداری می شود، انجام می گیرد. تعدادی مقره به صورت کاملاً اتفاقی و تصادفی از بین محموله آماده انتخاب می شود و تعدادی آزمایش روی نمونه های انتخابی انجام می شود. در صورتی که نتایج آزمایش ها مثبت باشند، کیفیت محصول آن ها از طرف خریدار تأیید می شود. تعداد نمونه های انتخابی بر اساس استاندارد IEC به صورت زیر است [۱۳]:

با فرض  $P$  تعداد مقره های انتخابی به عنوان نمونه و  $N$  تعداد کل مقره ها باشد، آنگاه:

(۱) اگر  $N > 500$  باشد،  $P$  با توافق طرفین تعیین می شود.

(۲) اگر  $500 > N > 2000$  باشد  $P = 4 + (1/5N \div 1000)$  است.

۳) اگر  $N < 20000$  باشد،  $P = 14 + (0/75N \div 1000)$  است.

آزمایش هایی که بر روی مقره های نمونه انتخاب شده انجام می گیرند، عبارتند از:

- ۱- بررسی سیستم قفل و بست.
  - ۲- کنترل مقدار وزن مقره ها و ابعاد قسمت های مختلف آن ها.
  - ۳- آزمایش سیکل حرارتی.
  - ۴- آزمایش حداکثر تحمل بار الکترومکانیکی (فقط روی مقره های شیشه ای).
  - ۵- آزمایش حداکثر تحمل بار مکانیکی.
  - ۶- آزمایش شوک حرارتی (فقط برای مقره های شیشه ای).
  - ۷- آزمایش تحمل ولتاژ در برابر سوراخ شدن (فقط برای مقره های نوع B).
  - ۸- آزمایش تخلخل (وجود حفره) (فقط برای مقره های چینی).
  - ۹- آزمایش میزان گالوانیزه بودن قسمت های فلزی مقره.
- مقره هایی که بر روی آن ها آزمایش های نمونه صورت می گیرد نباید در سرویس از آن ها استفاده شود
- [۱،۹،۱۳،۱۶].

### شرح آزمایش

- ۱- بررسی سیستم قفل و بست: در این جا چند آزمایش مختلف برای اطمینان از مکانیزم قفل و بست انجام می گیرد:

الف) با اتصال بشقاب ها به همدیگر و تشکیل یک یا چند زنجیره، حرکت‌های افقی شبیه به حرکت‌هایی که در حالت سرویس ممکن است پیدا شود به آن‌ها داده می‌شود که اتصال زنجیره‌ها نباید باز شود.

ب) اشپیل (پین نگهدارنده بشقاب‌های مقره به هم) تمام بشقاب‌ها در موقعیت قفل قرار داده می‌شود و به وسیله یک دستگاه که نیروی کششی وارد می‌کنند بار کششی برای حرکت کردن اشپیل هر بشقاب اعمال می‌شود. برای هر بشقاب این عمل ۳ بار تکرار می‌شود. مقدار این نیرو طبق استاندارد، بین ۵۰ تا ۵۰۰ نیوتن بایستی اعمال شود.

ج) اشپیل هر مقره یا نیروی کششی حداکثر یعنی  $N500$  کشیده می‌شود (به وسیله دستگاه کشنده). اشپیل‌ها در اثر این نیرو نباید از محل قفل به طور کامل خارج شوند.

## ۲- کنترل ابعاد مقره (Verification Of Dimensions) :

این کنترل ابعاد عبارتند از :

الف) اندازه‌گیری وزن مقره‌های نمونه و متوسط‌گیری به عنوان وزن مقره.

ب) اندازه‌گیری قطر خارجی مقره از بالاترین تا پایین‌ترین نقطه.

ج) اندازه‌گیری ارتفاع مقره از بالاترین تا پایین‌ترین نقطه.

د) اندازه‌گیری فاصله خزشی مقره ( Creepage Distance ).

ه) کنترل قطر حفره کلاهک و قطر پین فلزی مقره

## ۳- آزمایش سیکل حرارتی ( Temperature Cycle Test )

در این آزمایش یک مخزن آب سرد و یک مخزن آب گرم تهیه می شود. درجه حرارت مخزن آب گرم باید  $70^{\circ}\text{C}$  بیشتر از درجه حرارت مخزن آب سرد باشد و به وسیله یک سیستم اتوماتیک، درجه حرارت مخزن ها ثابت نگه داشته شوند. مفره های نمونه به مدت  $T$  دقیقه در مخزن آب گرم قرار داده می شوند.

بعد از طی زمان فوق ، سریعاً بدون هیچ تأخیری (حداکثر تأخیر ۳۰ ثانیه) و برای مدت زمان  $T$  دقیقه نیز در مخزن آب سرد غوطه ور می شوند. این سیکل گرما و سرما ۳ بار تکرار می شود.

شرط پذیرش این آزمایش این است که در پایان هیچ یک از مفره های نمونه ترک خوردگی پیدا نکرده باشند [۱،۹،۱۳،۱۶].

#### ۴- آزمایش تحمل بار الکترومکانیکی ( Electromechanical Failing Load Test )

در این آزمایش همزمان با اعمال ولتاژ با فرکانس صنعتی به مفره یک بار مکانیکی کششی نیز به مفره اعمال می شود تا اگر تخلیه الکتریکی داخلی در اثر تخلیه های داخل مفره اتفاق می افتد ، در اثر نیروی کششی اعمال شده به صورت عیب مکانیکی (مثلاً ترک خوردن مفره) مشخص می شود. ولتاژ اعمالی به مفره همان ولتاژ مقاوم با فرکانس صنعتی در هوای مرطوب است. چون در مفره های شیشه ای تخلیه های موضعی داخل مفره کاملاً پیدا است ، لذا این آزمایش برای مفره های شیشه ای انجام نمی شود [۱۳،۱۷،۲۰].

#### ۵- آزمایش تحمل حداکثر بار مکانیکی ( Mechanical Failing Load Test )

در این آزمایش مفره نمونه ، تک تک و به نوبت در داخل دستگاه مخصوص اعمال نیروی کششی قرار گرفته و نیروی کششی اعمالی به آن ها از صفر به طور سریع به مقدار ۷۵٪ حداکثر تحمل بار مکانیکی نامی مفره افزایش داده می شود. سپس به آرامی در یک مدت زمان معین بین ۱۵ تا ۴۵ ثانیه بار کششی اعمالی را به ۱۰۰٪ حداکثر بار مکانیکی می رسانیم. شدت این افزایش به مقدار ۳۵٪ حداکثر بار مکانیکی نامی در هر دقیقه می باشد. در این آزمایش مفره باید بتواند بار مکانیکی کششی اعمال شده را تحمل کند و دچار شکست مکانیکی لازم برای شکست

مقره دست یابیم. لازم به ذکر است که برای مقره های اتکایی (سوزنی) بار مکانیکی خمشی به جای کشش اعمال می شود.

#### ۶- آزمایش شوک حرارتی (فقط برای مقره های شیشه ای)

در این آزمایش یک مخزن آب که درجه حرارت کمتر از  $50^{\circ}\text{C}$  را دارد، مهیا می شود. سپس مقره های نمونه را در داخل یک کوره هوای گرم که درجه حرارت آن حداقل  $100^{\circ}\text{C}$  بالاتر از درجه حرارت مخزن آب است، ۲۰ دقیقه قرار می دهند. سپس مقره ها را به طور ناگهانی وارد مخزن آب می نمایند و حداقل ۲ دقیقه در مخزن با آب نکه می دارند. مقره ها نباید دچار ترک یا شکستگی شوند [۱،۹،۱۳،۱۶].

#### ۷- آزمایش تحمل ولتاژ در برابر سوراخ شدن مقره ( Pun Chore Tesr )

این آزمایش می تواند با یک موج ولتاژ سینوسی با فرکانس صنعتی و یا با یک موج ضربه ای انجام گیرد. البته معمولاً با فرکانس صنعتی انجام می شود. مقره های نمونه در این آزمایش کاملاً خشک و تمیز می شوند و در داخل یک محفظه روغن شناور می شوند. که روغن باید عاری از رطوبت و ناخالصی باشد و استقامت الکتریکی بالایی داشته باشد. اگر محفظه روغن فلزی باشد باید ابعاد آن خیلی بزرگ باشد که جرقه بین قسمت فلزی مقره و بدنه محفظه روغن زده نشود. ولتاژ با فرکانس صنعتی بین قسمت های فلزی مقره اعمال می شود. همچنین روغن برای این استفاده می شود که استقامت الکتریکی خیلی بالاتری نسبت به هوا دارد و از بروز جرقه سطحی روی مقره در اثر اعمال ولتاژ بالا جلوگیری می کند. برای آزمایش، ولتاژ اعمالی را سریعاً به مقدار حداکثر ولتاژ نامی قابل تحمل مقره می رسانیم که در استانداردها مشخص شده است که بر اثر این ولتاژ نباید در مقره شکست الکتریکی و سوراخ شدن به وجود آید. اگر میزان استقامت مقره مورد نظر باشد بایستی ولتاژ را آنقدر افزایش داد تا مقره سوراخ شود [۹،۱۷-۲۰].

#### ۸- آزمایش تخلخل (فقط برای مقره های چینی) Poorsity Test



در این آزمایش قطعات شکسته شده یک مقره چینی در یک محلول الکل یک درصد که مقداری جوهر قرمز نیز به آن اضافه شده (یک گرم جوهر قرمز در صد گرم الکل) و تحت فشار ۱۵ مگانیوتن بر متر مربع برای چندین ساعت (حدود ۲۴ ساعت) قرار داده می شود. سپس قطعات بیرون آورده شده و تمیز و خشک می شوند و دوباره شکسته شده و به قطعات کوچکتری تبدیل می شوند. در سطوح شکسته شده نباید هیچ اثری از نفوذ الکل مشاهده شود.

این آزمایش برای لعاب (glaze) مقره است (برای اطمینان از عدم وجود ترک های موبین در لعاب مقره) لذا می توان مقره را پس از آزمایش وزن کرد و سپس برای ۲۴ ساعت در آب تحت فشار قرار داده و سپس مجدداً وزن نمود. اگر افزایش وزن داشته باشیم نشان دهنده نفوذ آب در خلل و فرج مقره است.

#### ۹- آزمایش میزان گالوانیزاسیون قسمت های فلزی (Galvanizing Test)

در این آزمایش اولاً وضعیت ظاهری پوشش سطحی روی قسمت های فلزی مقره های نمونه از نظر یکنواختی و هموار بودن بررسی می گردد. همچنین به وسیله یک دستگاه مخصوص جرم فلز (روی) بر روی سطوح فلزی در واحد تعیین می گردد. دستگاه مخصوص فوق ، ضخامت فلز روی را می تواند در یک نقطه هم اندازه گیری کند. برای این منظور ۱۰ نقطه به طور تصادفی بر روی کلاهک و ۱۰ نقطه بر روی پین انتخاب می شوند. سپس با داشتن جرم حجمی روی ، مقدار جرم فلز روی در واحد سطح مشخص می شود. در هر مقره نمونه ، جرم روی در واحد سطح نباید کمتر از ۵۰۰ گرم بر متر مربع باشد و برای تمام نمونه ها به طور متوسط از مقدار ۶۰۰ گرم بر متر مربع نباید کمتر باشد [۱،۹،۱۳،۱۶].

#### تست های معمول مقره ها (Routine Test)

این آزمایش ها به تک تک مقره ها در خط تولید اعمال می شود که شامل آزمایش های زیر هستند :

۱- بررسی وضعیت ظاهری مقره ها از نظر شکل و ابعاد و رنگ ظاهری آن ها.

۲- آزمایش های مکانیکی :

برای مقره های نوع A: یک زنجیره از مقره ها به مدت یک دقیقه تحت یک بار کششی معادل ۶۰٪ حداکثر تحمل بار مکانیکی قرار می گیرند.

برای مقره های نوع B: یک زنجیره از مقره ها برای مدت ۱۰ ثانیه تحت یک بار کششی معادل ۴۰٪ حداکثر تحمل بار مکانیکی قرار می گیرند.

مقره هایی که در این آزمایش دچار شکست و ترک خوردگی شوند از خط تولید خارج می شوند.

۳- آزمایش الکتریکی :

مقره های بشقابی یا مقره های اتکایی (سوزنی) در این آزمایش به آنها یک ولتاژ سینوسی با فرکانس صنعتی اعمال می شود. دامنه ولتاژ باید به حدی باشد که هر چند ثانیه یک بار جرقه سطحی روی مقره زده می شود. زمان اعمال ولتاژ باید حداقل ۵ دقیقه باشد. اگر مقره ها دچار سوراخ شدگی شوند از خط تولید خارج می شوند [۱،۹،۱۳،۱۶].

## بخش چهارم

### تست پیرسازی مقره ها

فعالیت های زیادی در سال های گذشته به منظور پیش بینی عمر مفید مصرفی مقره های الکتریکی، صورت گرفته است. تئوری یا تست های تحلیلی زیادی وجود دارند که توانایی توضیح کامل و صحیح پیرسازی در سرویس و بنابراین عمر مصرفی پلیمرهای دی الکتریک را دارند. عمر عایق بودن تحت شرایط عادی اغلب آنقدر طولانی است

که تست تحت شرایط سرویس کاملاً محقق یافته و سرمایه و زمان می تواند با تست پیرسازی شتابدار<sup>۱</sup> حفظ شوند.

برای شبیه سازی شرایط در سرویس، مرسوم است که تست پیرسازی شتابدار با قراردادن نمونه ها تحت تنش های (الکتریکی، حرارتی و مکانیکی) بسیار شدیدتر از آنچه در میدان روی می دهد، باشد که سبب تخریب زود هنگام می شود. امیدواریم که نتایج بدست آمده از پیرسازی شتاب داده شده به شرایط سرویس عادی برون یابی شده تا بتوان عمر سرویس برای مواد یا محصولات را تخمین زد.

توسعه تست پیرسازی شتاب دار هیچگاه ساده نبوده چون پارامترهای مختلفی را شامل می شود. تست پیرسازی باید شامل فاکتورهای مخرب تحت سرویس باشند.

بنابراین بسیار مهم است که اهداف مشخص و فهمی از فاکتورهای اصلی درگیر، قبل از شروع تست پیرسازی شتابدار، داشته باشیم. دو سوال اصلی در ارتباط با فرآیندهای برنامه ریزی کلی عبارتند از:

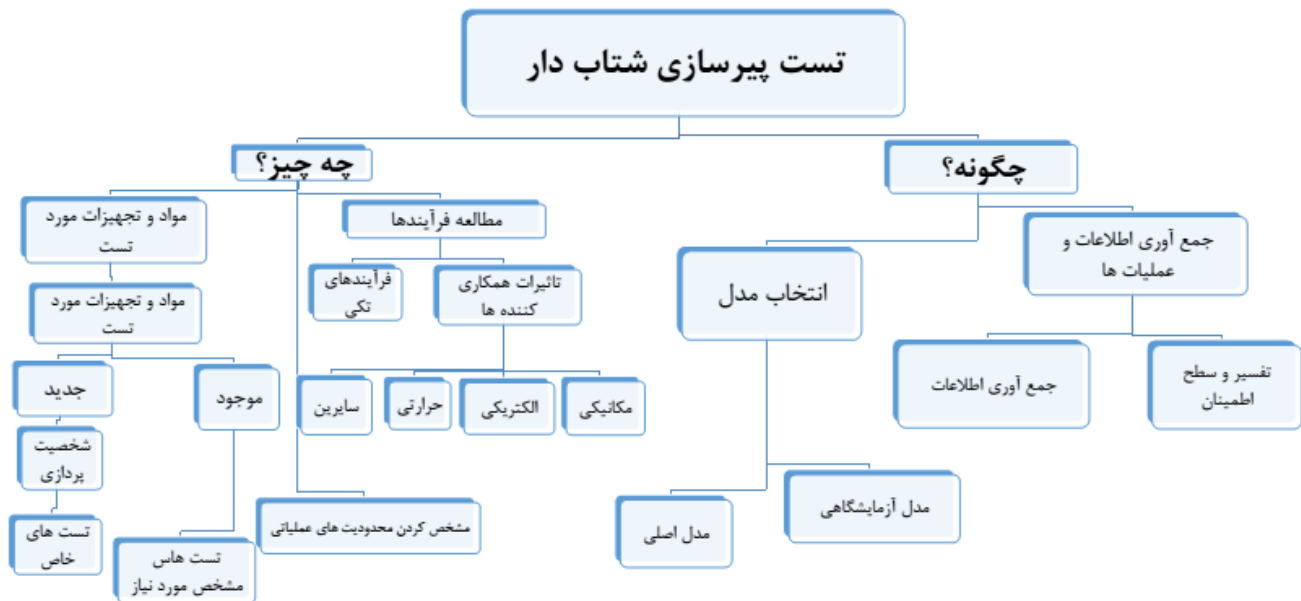
۱- چه چیز را می خواهید از این تست بفهمید؟

۲- چگونه می خواهید به آن برسید؟

موضوع اصلی این تحقیق پاسخگویی به این دو سوال است که با خلاصه ای از تکنیک های معمول مورد استفاده برای مشخص کردن و ارزیابی خواص الکتریکی مواد جدید می باشد. توسعه تست های دی الکتریکی قابل اعتماد موضوع نگرانی های صنعت الکتریکی می باشد چون این تست پیرسازی شتاب دار جهت پیش بینی عمر، نامشخص و گاهی غلط شناخته شده است.

مراحل مختلف در برنامه ریزی و تحقق تست پیرسازی شتاب دار به صورت شماتیک در شکل ۱،۸ آورده شده است [۲۷-۱۷].

<sup>1</sup> Accelerated Aging test



شکل 1- برنامه ریزی تست پیرسازی شتاب دار

### ۱- تست پیرسازی مصنوعی کوتاه مدت

در این تست ها، تاثیر محیط برای زمان کوتاهی (یکسال) مشاهده شده و اقداماتی برای ایجاد تاثیرات مشابه در زمان کمتری در حال انجام است. این عمل در طراحی، بهبود و انتخاب عایقی برای کاربردهای خاص کمک بسیاری می کند. تعدادی از روش های پیرسازی شتاب دار عبارتند از:

۱- **تست مقاومت به اسید:** نمونه ها در معرض نیتریک و سولفوریک اسید رقیق در دمای اتاق به مدت ۵ هفته قرار می گیرد و هرگونه تخریب شیمیایی و فیزیکی مشاهده و بررسی می گردد.

۲- **تست هیدرولیز:** این تست با در معرض قرار دادن نمونه ها در آب در حال جوش برای مدت ۵ هفته اندازه گیری شده و سطح مواد توسط اشعه مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفته تا میزان تخریب های شیمیایی با بزرگنمایی X10 برای بررسی تخریب های فیزیکی مثل ترک ها صورت گیرد.

۳- **پیرسازی UV شتاب گرفته:** نمونه ها در معرض UV درون محفظه ی هواسنج قرار می گیرند. لامپ اشعه کربنی UV هم بعنوان منبع نوری مورد استفاده قرار می گیرد، که دارای طول موج دربازه 300-400 nm می

باشد. رطوبت نسبی را در محدوده  $(50 \pm 5)\%$  نگه داشته و دما هم در  $30$  درجه سانتیگراد نگه می داریم. نمونه ها را در معرض نور UV معمولاً  $1000$  ساعت قرار می دهیم. می دانیم که  $200$  ساعت از دوره های تست برابر با یک سال از در معرض UV واقعی در محیط بیرون با طول موج  $300-400$  nm می باشد که مربوط به آسیب دیدن پلیمر می باشد.

۱- دستور العمل: سه نمونه از مواد محافظ و پوششی برای تست را انتخاب کنید (با نشانه گذاری که مربوط باشند). مواد محافظ عایق ها باید در معرض تست نور UV، هزار ساعت با استفاده از روش های زیر قرار بگیرند. نشانه گذاری بر غلاف ها هم باید مستقیماً در معرض نور UV قرار داشته باشد.

\*روش قوس زنون: استانداردهای ISO 4892-1 و ISO 4892-2 با استفاده از روش A بدون مدت زمان گردش تاریکی، دمای صفحات سیاه  $65$  درجه سانتیگراد و با شدت تابش حدود  $550 \text{ W/m}^2$  ایجاد می کند.

### معیارهای پذیرش

بعد از تست، علامت گذاری بر روی مواد محافظ و پوشش باید خوانا و روشن باشد. آسیب های سطحی مثل ترک و مناطق برجسته مجاز نیستند. در صورت تردید به آسیب ها، اندازه گیری زبری دو سطح باید بر روی هر سه نمونه انجام بگیرد. زبری  $R_z$  مطابق تعاریف های ISO 4287 باید در امتداد طول، حداقل  $2/5$  میلی متر اندازه گیری شود.  $R_z$  نباید از  $0/1$  میلی متر بیشتر گردد.

۴- تست مقاومت به اوزون: نمونه ها درون مجراهایی آب بندی شده متصل به مولد اوزون قرار می گیرند. اوزون به مدت  $30$  دقیقه در هر روز کار کرده تا غلظت اوزون که در مدت  $24$  ساعت از بین نمی رود را بدست آورد. نمونه ها در این سیکل به مدت  $5$  روز در هفته و به مدت  $3$  هفته قرار می گیرند. سپس بعد از تخریب نمونه ها، آن را از لحاظ تجزیه شیمیایی و فیزیکی در هر هفته مورد بررسی قرار می دهند.

۵- تست حرارتی: با قرار دادن مقره در ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰۰ ساعت در آون<sup>۱</sup> صورت گرفته و هرگونه تغییر شکل و یا عیبی که در اثر حرارت ایجاد می شود را بررسی می کنند.

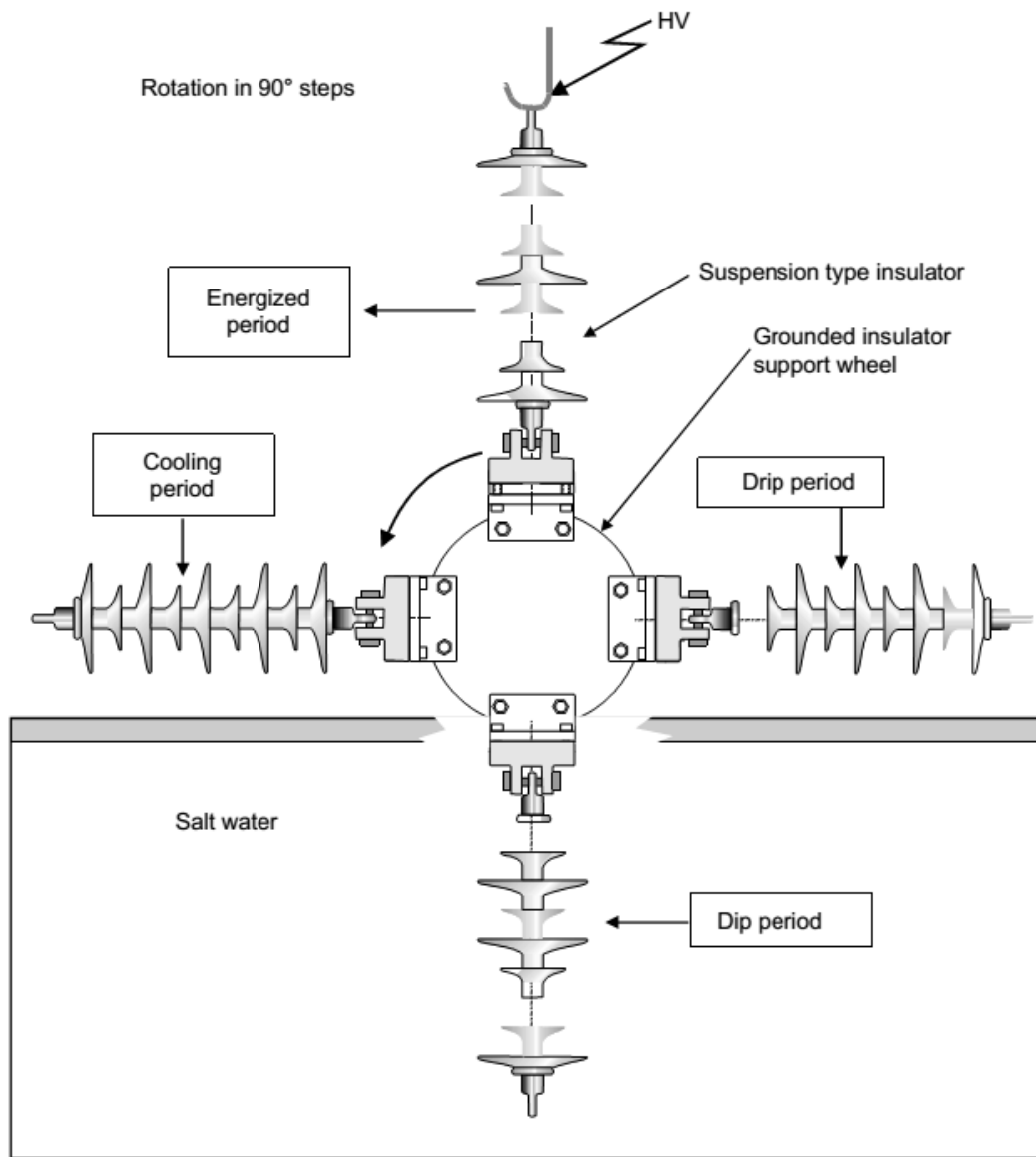
بعد از پایان ۶ ماه از پیرسازی مصنوعی، اگر مقره هنوز دارای عملکرد الکتریکی خوبی بود و نشتی جریان کمی داشت، می توان آن را برای استفاده های کلی تر قبول کرد. اگر که رفتاری مشابه حتی بعد از یک سال نشان داد، از آن در محیط های بسیار آلوده هم می توان استفاده نمود [۳۰-۲۷،۱۶].

## ۲- تست غوطه وری چرخان

این روش پیرسازی اثرات شرایط میدان تحت تنش های کم تا متوسط را نشان می دهد. دلیل اصلی آن کنترل کم مدت پیرسازی است. تست قبل از هرگونه ایجاد اثری، متوقف می شود. دوره استراحت ضروری هم معرفی می شود. هنگامیکه در نمونه ها پیک نشتی جریان از یک میلی آمپر بیشتر شود، در بیشتر از ۵ چرخش در هر ردیف، زمان پایان پیرسازی را نشان می دهند.

ساختمان دستگاه شامل ۴ نمونه ی عایق است و نمونه ها بر روی قابی چرخان با زاویه ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار گرفته اند. این چرخ در ۹۰۰ مرحله چرخیده و بنابراین هر نمونه یک دقیقه در هر کدام از ۴ موقعیت قرار می گیرد و در نتیجه هر دور کامل ۴ دقیقه می شود (شکل ۱،۹). اولین موقعیت غوطه وری درون آب شور می باشد. دومین همتراز موقعیت ترننده ها می باشد که اجازه می دهد آب در اثر خاصیت آب گریزی چکه کند. سوم موقعیتی پرانرژی است که ولتاژ بالایی را از انتهای بالایی به آن وارد شده و پیک نشتی جریان توسط ضبط کننده جریان ثبت می شود. در موقعیت چهارم نمونه در موقعیتی افقی استراحت می کند. آب شور مورد استفاده در موقعیت یک آب دیونیزه شده دارای سدیم کلراید با نسبت  $1/5 \text{ g/L}$  می باشد. مس کلراید هم برای کاهش رشد جلبک ها افزوده می شود.

<sup>1</sup> Oven



شکل ۲. Error! No text of specified style in document. تست غوطه‌وری چرخان

## معیارهای پذیرش

نمونه های تست از طراحی های مشخص باید با یکدیگر سنجیده شوند. هر جفت از نمونه های تست با طراحی متفاوت باید جداگانه ارزیابی شوند. تعداد تخلیه های الکتریکی و توقف ها باید ضبط شده و در گزارشات آورده شود. تست پذیرفته در نظر گرفته می شود اگر هر دو نمونه های تست:

\*هیج Tracking رخ ندهد (مگا اهم متر باید در امتداد هر مسیر مشکوکی اعمال شود و از ولتاژ یک کیلو ولت با جریان DC یا بالاتر استفاده شود. پروب ها باید بین ۵ تا ۱۰ میلی متر جدا باشند. مقاومت کمتر از  $2\text{ M}\Omega$  سبب تخریب می شود).

\*در مقره‌های کامپوزیتی، عمق فرسایش کمتر ۳ میلی متر و نباید به هسته برسد.

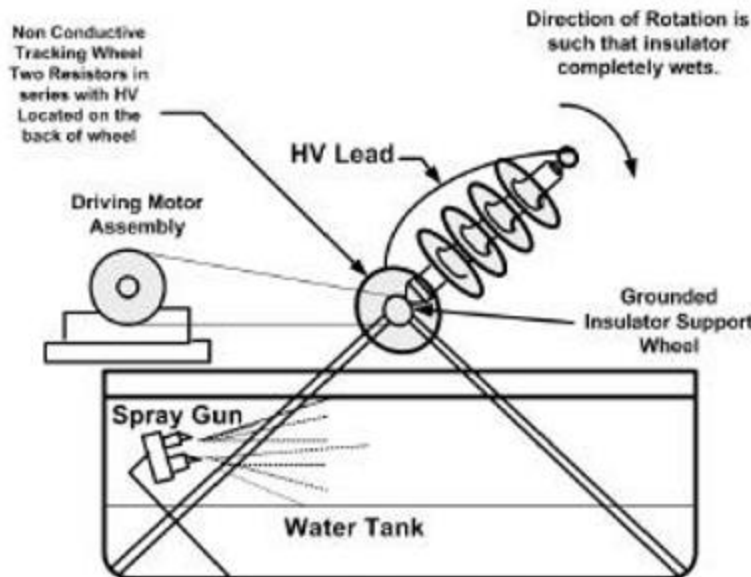
\*در مقره‌های رزینی، عمق فرسایش باید کمتر از ۳ میلی متر باشد.

\*هیچگونه پوسته‌ای، غلاف و سطحی نباید دچار سوراخی و پارگی شود [۱۰، ۱۳، ۱۶، ۳۱].

### ۳- تست چرخ Tracking

عملکرد طولانی مدت مواد پلیمری مورد استفاده در مقره‌های الکتریکی طراحی شده برای نشتی جریان و تخلیه با نوار خشک برای توسعه در سرویس، می باشد. تجربیات در سرویس نشان داده اند که دامنه و فرکانس تخلیه با نوار خشک در عایق های الکتریکی به طراحی وابسته نبوده، اما به خواص سطحی مواد پلیمری مورد استفاده وابسته است. برای چندین سال، روش محفظه Tracking ثابت کرده که در فراهم کردن اطلاعاتی کافی در عملکرد مورد انتظار برای مدل عایق های خاص تحت شرایط به شدت آلوده، بسیار مورد اعتماد می باشند. شکل ۱،۱۰ نشان دهنده این تست می باشد.





شکل. Error! No text of specified style in document. ۳- شماتیک تست Tracking

محفظه های Tracking در غالب فرآیند ترشوندگی نمونه در سه گروه طبقه بندی می شوند:

۱- محوطه چرخ Tracking

۲- محفظه مه نمکی

۳- محفظه نم نم باران

در روش چرخ Tracking سیکل های تر و خشکی بر سطوح تنش دار نمونه وارد شده تا تشکیل جرقه روی سطح مقره را در حالت خشک، شبیه سازی کند. فرسایش یا Tracking تنها در جرقه زنی خشک صورت گرفته که در حین یا به سرعت بعد از رسوب گذاری آلودگی ها روی سطح مقره صورت می گیرد. آسیب های سطحی، فرسایش یا کربن دهی از حرارت قوس و جرقه ایجاد می شود. تا وقتی که سطح بین الکترودها ولتاژ اعمالی را نتواند تحمل کند و سبب تخریب و تخلیه الکتریکی شود، این آسیب ها بیشتر می شوند. چون این مکانیزم همانند آنچه در سرویس رخ می دهد می باشد، پس تشابه آن با تجربیات بسیار خوب می باشد [۱۰].

دو تست استاندارد (تست مه نمکی ۱۰۰۰ ساعتی) و (تست چرخان) توضیح داده شدند. یکی از این تست ها باید برای اثبات مقاومت طراحی عایق به تنش های فعالیت تخلیه های الکتریکی، انتخاب گردد.

الف) تست مه نمکی ۱۰۰۰ ساعته

این تست روشی مستمر با زمان محدود در مه نمکی و ولتاژ با فرکانس و قدرت ثابت می باشد.

\*محفظه تست

تست درون محفظه ضد خوردگی مرطوب عایق بندی شده صورت می گیرد که حجم آن نباید از  $15 \text{ m}^3$  بیشتر باشد. منفذ و روزنه نباید از  $80 \text{ cm}^2$  برای هوای طبیعی مصرفی، بیشتر باشد.

\*تولید مه

اسپری کننده ای توربو (رطوبت ساز اتاق) با ظرفیت اسپری کنندگی ثابت بعنوان اتمیزه کننده قطرات آب از سایز ۵ تا ۱۰ میکرومتر استفاده می شود. از نازل تولید کننده قطرات آب با سایز برابر باید استفاده شود. نازل اسپری مه نمکی با توجه به استاندارد IEC 60507 انتخاب می شود.

اسپری کننده یا نازل نزدیک انتهای محفظه قرار گرفته و به سمت بالای سقف محفظه اسپری می کند. مه باید محفظه را پر کند و نباید مستقیماً به نمونه تست اسپری شود. آب نمک از NaCl و آب دیونیزه آماده شده که به اسپری کننده تزریق می شود. شدت مه و یکنواختی در ناحیه ی قرارگیری نمونه باید حفظ شود.

\*کالیبراسیون مه

کالیبراسیون باید در ابتدای تست صورت بگیرد. حداقل ۲ ظرف تمیز جمع آوری با ناحیه جمع آوری ( $\text{mm}^2$ )  $(8000 \pm 2000)$  و حداکثر ارتفاع  $100 \text{ mm}$ ، تا حد ممکن باید نزدیک انتهای نمونه مورد تست قرار بگیرد. ظرف باید به گونه ای قرار بگیرد که نمونه تست مانع از چکاندن اجزای ساختاری محفظه یا منابع دیگر نشود.

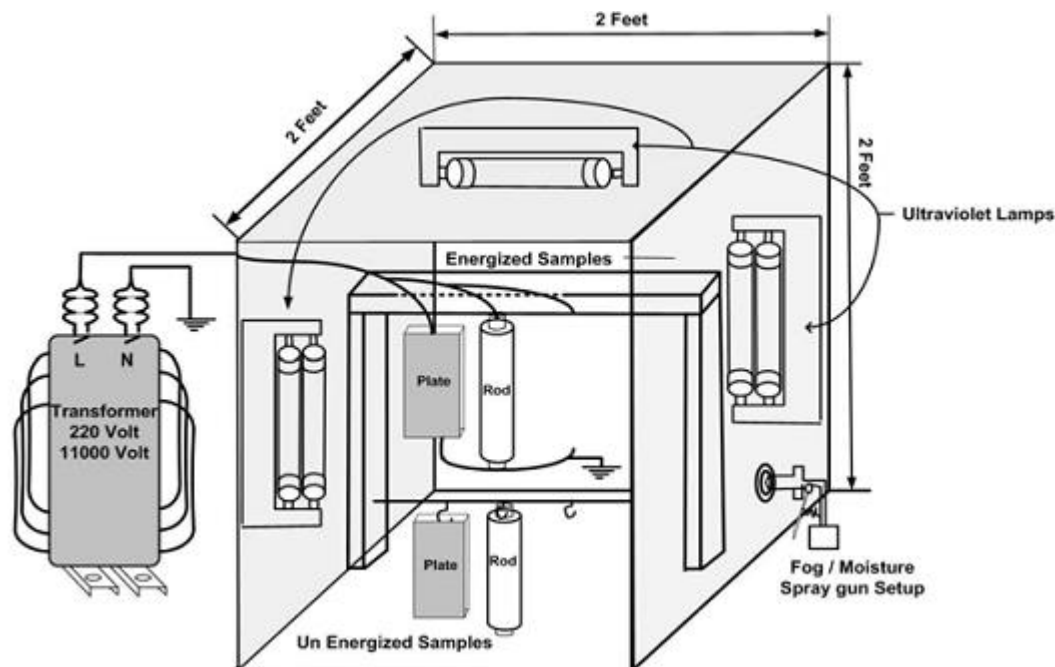
آنها باید بین ۱/۵ تا ۲ میلی لیتر رسوب در هر ساعت را جمع آوری کنند، که در حداقل دوره ۱۶ ساعته با توجه به استاندارد IEC 60068-2-11 میانگین گرفته می شود. استفاده مجدد از آب مجاز نیست.

شدت جریان باید برای حفظ رسوبات نگه داشته شود و باید در حین تست حداقل هر ۱۰۰ ساعت بررسی شده تا در میزان  $\pm 25\%$  مقدار اولیه باقی بماند [۱۰،۱۳،۱۶].

#### ۴- امکانات پیرسازی شتاب دار یا طبیعی طولانی مدت در محیط چند تنشی

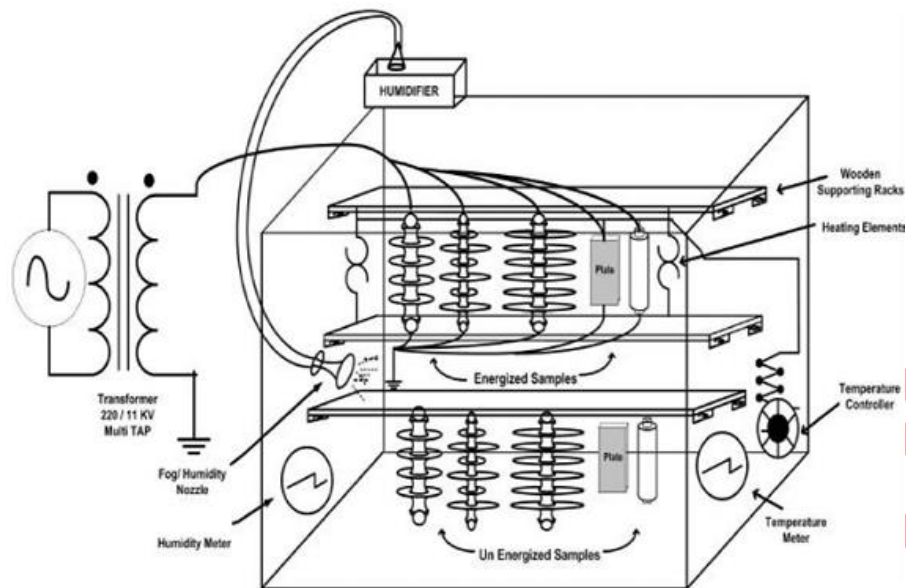
تست پیرسازی معمول مثل تست مه نمکی، تست چرخ Tracking و غوطه وری چرخ چرخان و ... توضیح داده شد، که تعداد تنش های اعمالی یکجا را محدود می کند. استفاده از آن روش ها، تاثیرات عملکرد ترکیبی بر سیستم های عایق میدان های واقعی معرفی نشدند. تنش ها در تست های منحصر به فردی که با هم می پیوندند در بیشتر اوقات غیر واقعی هستند. شکل های تخریب ایجاد شده با تنش های اضافی در سرویس های واقعی محاسبه نمی شوند. بنابراین تست چند تنشی در سیکل های تکراری اعمال می شوند و شرایط سرویس واقعی را شبیه سازی می کنند. سیکل های هوایی هم برای شرایط سرویس اعمال می شوند. تنش ها کاربردهای همزمان ترکیب ولتاژ، تشعشعات UV، رطوبت و آلودگی های درون سرویس را ایجاد می کنند. رطوبت توسط شرحی بودن هوا، مه و یا باران ایجاد می شود [۱۰،۱۹].

بطور مثال پایگاه تست پیرسازی طبیعی شامل تست برای ۱۱ و ۲۲ و ۳۳ و ۶۶ و ۱۳۲ کیلوولت در اتاق کنترل، پایگاه کنترل محیطی، کنترل آلودگی ها و سیستم نشتی جریان می باشد. ضریب آلودگی در ایستگاه تست KIPTS در حدود  $2000 \mu\text{s/cm}$  است که مقدار بسیار بالایی است. در این محفظه پیرسازی طبیعی عایق در حدود ۶ یا ۱۲ ماه کنترل می شود. نتایج تست مستقل از زمان بوده که نشان می دهد که نتایج تست از یک سال را می توان با نتایج هرچند سال دیگری مقایسه کرد [۱۵]. تست مقرر در محیط شبیه سازی شده توسط دستگاه شبیه مه نمکی انجام می گردد (شکل ۱،۱۱).



شکل. Error! No text of specified style in document. - شماتیک دستگاه اندازه گیری میزان پیری مفره در محیط شبیه سازی شده

محفظه ی مه در Okinawa ارزیابی نمونه هایی کوچک که سطح تنش الکریکی ۷۷ کیلوولت AC به زمین را تحمل می کند، را انجام دهد. محفظه در حدود  $4/4$  با  $3/3$  متر ارتفاع می باشد. برای بررسی تاثیرات تغییرات، رطوبت سنجی، رسوب گذاری، در معرض نمک و تشعشعات UV طراحی شده است. نیروی پایدار ۲۰ کیلو نیوتون می تواند نیز اعمال شود [۳۲]. برای انجام این تست از دستگاهی که توانایی قرار دادن مفره تحت تنش های متفاوت و محیط شبیه سازی شده را دارد، باید استفاده گردد (شکل ۱، ۱۲).



شکل ۵-۵. دستگاه پیرسازی شتابدار مفره تحت چند تنش

## تأثیر پارامترهای مختلف بر کاهش عملکرد الکتریکی

### ۱- تأثیر دما

یکی از مشخص ترین فاکتورهای تخریب در پیرسازی مواد آلی، زمانی است که در معرض اشعه UV قرار می گیرند و سبب افزایش دمای سطح نمونه ها می گردد. نرخ پیرسازی برای هر افزایش ۱۰ درجه سانتیگراد در دما، دو برابر می شود [۱۶].

### ۲- تأثیر آلودگی های زیاد

آلودگی ها، لایه ای بر روی سطح تشکیل می دهند که سبب اتلاف و کاهش آب گریزی سطح می شود. وقتی این آب گریزی از بین می رود، نشستی جریان و فعالیت های قوس زنی بر روی سطح مفره افزایش می یابد و عملکرد آن را کاهش می دهد.

از منبع انرژی قوی باید برای ارزیابی آلودگی تخلیه الکتریکی / تحمل ولتاژ مفره های پلیمری آب گریز، به خصوص تحت شرایط با آلودگی سنگین به دلیل تخریب منبع الکتریکی، استفاده می شود [۲۹].

### ۳- ظرفیت سرکوب نشتی جریان

تفاوت مشخص در مواد عایق مختلف براساس ظرفیت سرکوب نشتی جریان در مقره‌های به نسبت آلوده تحت شرایط مه تمیز، دیده شده است. ظرفیت سرکوب نشتی جریان HCEP (سیستم اپوکسی آب‌گریزی سیلکو-آلفاتیک) بهتر از ظرفیت سرکوب جریان CEP (سیستم اپوکسی سیکلو-آلفاتیک) بوده و با LSR (لاستیک سیلیکونی مایع) قابل قیاس می‌باشد.

CEP استاندارد، که در تاثیرات انتقال آب‌گریزی طراحی شده است، فعالیت نشتی جریان بالاتری نسبت به مواد تست شده دیگر نشان می‌دهد [۳۳،۳۴].

### ۴- تاثیر رطوبت

به وضوح مشخص شده است که رطوبت می‌تواند تخلیه الکتریکی سطحی تولید کند و سپس می‌تواند به مقره آسیب برساند. آسیب می‌تواند با اندازه‌گیری مدت زمان پالس نشتی و آنالیز طرح تخلیه سطحی شناسایی شود. همچنین طرح تخلیه برای شناسایی آسیب شرایط سطحی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری نشتی جریان سطح کل ۵۰ Hz، هیچگونه ارتباط مشخص با آسیب‌های سطحی را ایجاد نمی‌کند [۳۵].

### ۵- تاثیر افزایش رسانایی

افزایش در رسانایی و سرعت جریان آلودگی‌ها، سبب سرعت گرفتن Tracking مواد عایق لاستیک سیلیکونی می‌شود [۱۶].

### ۶- تاثیر پارامترهای متفرقه

بطور کلی برای همه مواد پلیمری مشخص شده است که خواص مواد به طور مشخصی بر زمان Tracking اثر می‌گذارد. درصد‌های مختلف از بلوری بودن مواد با پیرسازی حرارتی و نمونه‌های سیکلی پیرسازی شده مشخص

می شود. کاهشی در آنتالپی مواد در مناطق تشکیل Tracking در نتایج DSC مشاهده شده است. این مشخص می کند که تنها آسیب های سطحی در ساختار مفره رخ می دهد [۳۵].

## روش های آنالیز

مفاهیم پیرسازی با روش های مختلفی شناسایی می شود. این روش ها در شناسایی و طبقه بندی پیرسازی با روش های غیر مخرب مفید هستند. دانش دقیق از سطح تخریب و عمر باقیمانده مواد مورد استفاده در مفره مشخص با اندازه گیری نشتی جریان، آب گریزی، عملکرد FTIR، پرتونگاری فوتو الکترون اشعه X، اشعه X پراکنده کننده انرژی، پرتونگاری جرم یون ثانویه، کروماتوگرافی گازی، پرتونگاری فلورسنت، آنالیز حرارت سنجی، بازرسی سطحی با میکروسکوپ الکترونی، اندازه گیری فاکتور اتلاف، اندازه گیری توزیع میدان الکتریکی و .... بدست می آید [۱۶].

## شرایط محیطی

شرایط محیطی عادی، که برای عایق ها در سرویس استفاده می شوند در جدول ۱،۲ تعریف شده اند. وقتی شرایط محیطی خاصی در موقعیتی حاکم شود که عایق ها در سرویس قرار می گیرند، باید توسط مصرف کنندگان با مرجع IEC60721-1 مشخص شوند [۱۳].

جدول ۱. شرایط محیطی عادی. **Error! No text of specified style in document.**

شرایط	مقره های داخلی	مقره های بیرونی
حداکثر دمای هوای محیط	از ۴۰ درجه سانتیگراد بیشتر نشده و مقادیر میانگین در طی زمان ۲۴ ساعت از ۳۵ درجه سانتیگراد بیشتر نمی شود.	
حداقل دمای هوای محیط	-۲۵ درجه سانتیگراد	-۴۰ درجه سانتیگراد

لرزش های ناچیزی براساس دلایل خارجی عایق ها یا ارتعاشات زمینی ایجاد می شود. <sup>a</sup>		لرزشی
تا سطح $1000 \text{ W/m}^2$	قابل چشم پوشی	تشعشعات خورشیدی <sup>b</sup>
آلودگی با گرد و غبار، دود، گازهای خورنده، بخار بانمک رخ می دهد. آلودگی مطابق IEC-60815 از "سنگین" بیشتر نمی شود.	هیچ آلودگی خاصی توسط گرد و غبار، دود، گازهای خورنده و اشتعال پذیر، بخار یا نمک ایجاد نمی شود.	آلودگی هوای محیط
در این شرایط، معیار گهگاهی اتفاق می افتد.	مقدار میانگین رطوبت نسبی اندازه گیری طی مدت ۲۴ ساعت از ۹۵٪ بیشتر نمی شود. اندازه گیری طی مدت یکماه از ۹۵٪ بیشتر نمی شود.	رطوبت

(a) لرزش براساس دلایل خارجی براساس IEC 60721-1 ایجاد می شود.

(b) جزئیات تشعشعات خورشیدی در IEC 60721-1 آمده است.