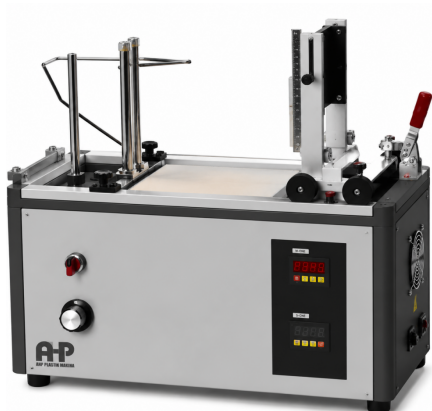




**IEC 60695-2-11** روش آزمون اشتعال پذیری سیم داغ را که برای ارزیابی خطر آتش سوزی روی محصولات نهایی اعمال می شود، تعریف می کند.

برای اهداف این روش آزمون، محصول نهایی شامل موارد زیر است:

- تجهیزات کامل الکترو تکنیکی؛
- زیر مجموعه ها؛
- قطعات.

هدف آزمون سیم داغ، ارزیابی این موضوع است که آیا قطعه در معرض تنش حرارتی غیر عادی:

- در برابر اشتعال مقاومت می کند؛

- در صورت وقوع اشتعال، مدت سوختن را محدود می‌کند؛
- و از انتشار آتش از طریق شعله‌ها، ذرات شعله‌ور یا ذرات گداخته جلوگیری می‌کند.

این آزمون به‌ویژه برای قطعات پلیمری و عایقی مورد استفاده در محصولات الکتریکی و الکتروتنیکی اهمیت دارد؛ محصولاتی که در آن‌ها گرم‌شدن بیش از حد قطعات حامل جریان، اتصالات نامناسب یا شرایط الکتریکی غیرعادی می‌تواند منبع اشتعال حرارتی موضعی ایجاد کند.

استاندارد IEC 60695-2-11 باید همراه با **IEC 60695-2-10** استفاده شود؛ استاندارد که دستگاه سیم داغ و روش آزمون عمومی را تعریف می‌کند.

## 1. دامنه کاربرد IEC 60695-2-11

استاندارد IEC 60695-2-11 کاربرد جزئی و دقیق آزمون سیم داغ را برای **محصولات نهایی** مشخص می‌کند.

اصطلاح محصول نهایی شامل موارد زیر است:

- تجهیزات الکتروتنیکی؛
- زیرمجموعه‌ها؛
- قطعات منفرد.

بنابراین، این آزمون در درجه نخست آزمون طبقه‌بندی مواد اولیه نیست؛ بلکه قطعه یا محصول را در پیکربندی نماینده شرایط واقعی استفاده ارزیابی می‌کند. این تمایز اهمیت دارد، زیرا رفتار یک ماده ممکن است هنگام قرارگرفتن در شرایط زیر تغییر کند:

- قالب‌گیری در هندسه‌ای مشخص؛
- اتصال به قطعه‌ای دیگر؛
- قرارگیری در نزدیکی قطعات حامل جریان؛
- قرارگرفتن در معرض جریان هوای محدود؛
- یا احاطه‌شدن با مواد قابل‌احتراق دیگر.

## 2. هدف آزمون سیم داغ

هدف آزمون، شبیه‌سازی تنش حرارتی موضعی است که ممکن است در شرایط کاری غیرعادی در تجهیزات الکتریکی رخ دهد. نمونه‌هایی از تنش‌های حرارتی واقعی عبارت‌اند از:

- اتصالات الکتریکی بیش‌ازحد گرم‌شده؛
- رساناهای دارای اضافه‌بار؛
- گرمایش مقاومتی؛
- ترمینال‌های داغ؛
- کنتاکت‌های معیوب؛
- یا قطعات گرم‌شونده الکتریکی در نزدیکی.

این آزمون مشخص می‌کند که آیا سیم داغ موجب اشتعال می‌شود یا خیر و در صورت وقوع اشتعال، آیا احتراق به اندازه کافی محدود می‌ماند. همچنین بررسی می‌کند که آیا ذرات شعله‌ور یا گداخته می‌توانند مواد اطراف زیر نمونه آزمون را مشتعل کنند یا خیر.

### 3. ارتباط با IEC 60695-2-10

استاندارد IEC 60695-2-11 به تنهایی کل دستگاه سیم داغ را تعریف نمی‌کند.

بلکه برای موارد زیر به **IEC 60695-2-10** ارجاع می‌دهد:

- ساخت دستگاه؛
- هندسه سیم داغ؛
- الزامات دستگاه آزمون؛
- سیستم اندازه‌گیری دما؛
- روش آزمون عمومی؛
- لایه مشخص‌شده؛
- و الزامات عمومی مرتبط.

بنابراین، یک سیستم آزمون کامل مطابق IEC 60695-2-11 باید هر دو مورد زیر را برآورده کند:

#### IEC 60695-2-10 - دستگاه و روش آزمون عمومی

و

#### IEC 60695-2-11 - روش آزمون اشتعال‌پذیری محصول نهایی

هنگام تعیین مشخصات یا خرید تجهیزات آزمون سیم داغ، توجه به این تمایز ضروری است.

## 4. تعریف قطعات کوچک

استاندارد، قطعات کوچک را بر اساس سطح در دسترس تعریف می‌کند.

قطعه زمانی کوچک محسوب می‌شود که:

- هر سطح آن به‌طور کامل درون دایره‌ای با قطر 15 mm قرار گیرد؛

یا

- بخشی از سطح خارج از آن دایره 15 mm باشد، اما سطح باقی‌مانده به‌گونه‌ای باشد که قرار دادن دایره‌ای با قطر 8 mm روی آن امکان‌پذیر نباشد.

هنگام ارزیابی سطح، موارد زیر نادیده گرفته می‌شوند:

- برآمدگی‌ها؛
- و سوراخ‌هایی که بزرگ‌ترین بعد آن‌ها بیشتر از 2 mm نباشد.

قطعات کوچک اهمیت دارند، زیرا روش سیم داغ شرح‌داده‌شده در این استاندارد برای چنین قطعاتی در نظر گرفته نشده است.

## 5. قطعات کوچک با این روش آزمون نمی‌شوند

IEC 60695-2-11 تصریح می‌کند که آزمون سیم داغ نباید برای قطعات کوچک تعریف شده در استاندارد استفاده شود. برای چنین قطعاتی ممکن است روش آزمون دیگری لازم باشد. یکی از روش‌های معرفی شده در استاندارد، **آزمون شعله سوزنی** است. این آزمون مطابق روش IEC مرتبط انجام می‌شود و از اعمال نوک نسبتاً بزرگ سیم داغ بر قطعات بسیار کوچک جلوگیری می‌کند.

## 6. انتخاب نمونه آزمون

هر زمان که امکان‌پذیر باشد، نمونه آزمون باید **محصول نهایی کامل** باشد. این گزینه ترجیح داده می‌شود، زیرا محصول کامل شرایط واقعی کارکرد را بهتر بازتولید می‌کند. نمونه آزمون باید به گونه‌ای انتخاب شود که شرایط آزمون، از نظر موارد زیر، تفاوت قابل توجهی با استفاده عادی نداشته باشد:

- شکل؛

- تهویه؛
- تنش‌های حرارتی؛
- رفتار شعله؛
- ذرات شعله‌ور در حال سقوط؛
- ذرات گداخته در حال سقوط؛
- قطعات اطراف.

## 7. آزمون زمانی که استفاده از محصول کامل امکان‌پذیر نیست

اگر آزمون محصول نهایی کامل عملی نباشد، استاندارد اجازه آماده‌سازی نمونه آزمون جایگزین را می‌دهد؛ مگر اینکه مشخصات محصول مرتبط خلاف آن را بیان کند.

اپراتور می‌تواند:

### گزینه A

مقطعی شامل قطعه مورد بررسی را از محصول جدا کند.

### گزینه B

در محصول کامل منفذی ایجاد کند تا سیم داغ به نقطه آزمون موردنظر دسترسی پیدا کند.

## گزینه C

قطعه را کاملاً جدا کرده و به صورت مستقل آزمون کند. با این حال، مشخصات فنی مرتبط باید تعیین کند که برای دسترسی، کدام قطعات را می‌توان جدا یا اصلاح کرد.

## 8. چرا اصلاح نمونه آزمون باید کنترل شده باشد

اصلاح محصول می‌تواند نتیجه آزمون را تغییر دهد.

برای مثال، ایجاد یک منفذ دسترسی ممکن است بر موارد زیر اثر بگذارد:

- میزان دسترسی اکسیژن؛
- جریان هوای موضعی؛
- توزیع دما؛
- اشتعال مواد اطراف؛
- خنک شدن سیم داغ.

یک منفذ کوچک ممکن است اکسیژن را محدود یا انتقال حرارت را تغییر دهد. منفذی که بیش از حد بزرگ باشد، ممکن است اکسیژن بیشتری نسبت به مقدار معمول در محصول واقعی وارد کند. بنابراین، آماده‌سازی نمونه آزمون باید تا حد امکان شرایط واقعی آزمون را حفظ کند.



## 9. نامعتبر شدن آزمون به دلیل گرمایش خارجی

اگر بخش دیگری از تجهیزات به وسیله حرارت سیم داغ مشتعل شود و آن اشتعال شرایط حرارتی نمونه آزمون را تغییر دهد، آزمون نامعتبر است. این الزام اهمیت دارد، زیرا آزمون باید نقطه موردنظر را ارزیابی کند، نه یک رویداد ثانویه و کنترل نشده اشتعال را.

## 10. هدف آزمون

آزمون سیم داغ بررسی می کند که آیا، تحت شرایط مشخص:

یا

سیم داغ نمونه آزمون را مشتعل نمی کند؛

یا

در صورت وقوع اشتعال:

- مدت احتراق محدود می ماند؛

- آتش بیش از حد گسترش نمی‌یابد؛
- شعله‌ها موجب انتشار غیرقابل قبول نمی‌شوند؛
- ذرات شعله‌ور یا گداخته، ماده مشخص شده زیر نمونه آزمون را مشتعل نمی‌کنند.

## 11. ممکن است آزمون اضافی لازم باشد

اگر نمونه آزمون هنگام اعمال سیم داغ شعله تولید کند، این شعله‌ها ممکن است به بخش‌های دیگر محصول برسند. در چنین شرایطی، انجام آزمون اضافی با استفاده از منبع اشتعال دیگری ممکن است ضروری باشد.

استاندارد مشخصاً بیان می‌کند که **آزمون شعله سوزنی** ممکن است برای قطعاتی که شعله‌های ایجاد شده به آن‌ها می‌رسند، مناسب باشد. بنابراین، موفقیت در آزمون سیم داغ به طور خودکار نیاز به سایر آزمون‌های خطر آتش‌سوزی را منتفی نمی‌کند.

## 12. دستگاه سیم داغ

الزامات دستگاه در **IEC 60695-2-10** مشخص شده است.

بنابراین IEC 60695-2-11 مشخصات جزئی موارد زیر را تکرار نمی‌کند:

- ماده سیم داغ؛

- ابعاد حلقه سیم داغ؛
- مدار گرمایش الکتریکی؛
- اعمال نیرو؛
- سازوکار کالسکه؛
- کنترل نفوذ؛
- ساخت ترموکوپل؛
- کالیبراسیون دما؛
- یا تجهیزات اندازه گیری شعله.

این الزامات باید از IEC 60695-2-10 دریافت شوند. بنابراین، برای یک سیستم آزمون کامل و منطبق، هر دو استاندارد باید در نظر گرفته شوند.

## 13. لایه مشخص شده زیر نمونه آزمون

برای ارزیابی احتمال انتشار آتش ناشی از موارد زیر:

- ذرات شعله ور؛
- ذرات گداخته؛
- مواد مذاب؛

یک لایه مشخص شده زیر نمونه آزمون قرار می گیرد. این لایه در IEC 60695-2-10 تعریف شده است.

در صورت مناسب بودن، می توان از ماده یا قطعات واقعی که معمولاً زیر یا اطراف قطعه آزمون شده قرار دارند نیز استفاده کرد. هدف، تعیین این موضوع است که آیا ماده آزاد شده از نمونه آزمون می تواند محیط اطراف خود را مشتعل کند یا خیر.

## 14. موقعیت لایه مشخص شده

هرگاه ماده یا قطعات واقعی اطراف بازنمایی شوند، فاصله بین موارد زیر:

- نمونه آزمون؛
- و لایه مشخص شده

باید با فاصله موجود در محصول الکتروتکنیکی واقعی مطابقت داشته باشد. این کار تضمین می کند که انتشار آتش در شرایط هندسی واقع گرایانه ارزیابی شود.

## 15. تجهیزات مستقل

اگر نمونه آزمون یک محصول مستقل و کامل باشد، روی لایه مشخص شده و در وضعیت عادی استفاده قرار می گیرد.

لایه باید در تمام جهات، حداقل 100 mm فراتر از پایه تجهیزات امتداد داشته باشد.

این چیدمان سطح کافی برای شناسایی اشتعال ناشی از مواد در حال سقوط فراهم می‌کند.

## 16. تجهیزات نصب‌شده روی دیوار

برای تجهیزات کامل نصب‌شده روی دیوار، محصول در وضعیت عادی استفاده نصب می‌شود.

لایه مشخص‌شده در فاصله  $5 \text{ mm} \pm 200$  زیر تجهیزات قرار می‌گیرد.

این هندسه، اثر احتمالی ذرات شعله‌ور یا گداخته در حال سقوط را در نصب واقعی شبیه‌سازی می‌کند.

## 17. شدت‌های آزمون

شدت آزمون سیم داغ با دمای آزمون تعیین می‌شود.

دمای آزمون ترجیحی عبارت‌اند از:

**تلرانس دمای آزمون**

$550 \text{ °C} \pm 10$

650 °C K  $\pm 10$

750 °C K  $\pm 10$

850 °C K  $\pm 15$

960 °C K  $\pm 15$

ممکن است دماهای دیگری نیز در مشخصات محصول مرتبط تعیین شوند. بنابراین، دمای آزمون باید همیشه بر اساس الزامات استاندارد محصول قابل اعمال انتخاب شود.

## 18. اهمیت دمای آزمون

دمای سیم داغ، شدت تنش حرارتی غیرعادی را نشان می‌دهد.

به طور کلی:

- دماهای پایین‌تر با قرارگیری حرارتی کم خطرتر متناظر هستند؛
- دماهای بالاتر شرایط اشتعال دشوارتری را شبیه‌سازی می‌کنند.

استاندارد بیان نمی‌کند که همه محصولات باید در یک دمای یکسان آزمون شوند. در عوض، شدت مناسب آزمون به موارد زیر بستگی دارد:

- نوع محصول؛

- کاربرد مورد نظر؛
- محیط نصب؛
- تحت نظارت بودن یا نبودن تجهیزات؛
- حفظ یا عدم حفظ قطعات حامل جریان؛
- پیامدهای اشتعال.

## 19. راهنمای انتخاب دمای آزمون

پیوست اطلاع‌رسان A راهنمای انتخاب دمای مناسب را ارائه می‌کند. شدت توصیه‌شده باید با در نظر گرفتن موارد زیر انتخاب شود:

- قرارگیری در معرض گرمای غیرعادی؛
- احتمال اشتعال؛
- پتانسیل انتشار آتش؛
- پیامدهای خرابی.

این راهنما جایگزین مشخصات اجباری محصول نیست، اما مبنایی مهندسی و مفید فراهم می‌کند.

## 20. تجهیزات برای استفاده تحت نظارت

برای تجهیزاتی که تحت شرایط تحت نظارت استفاده می‌شوند، راهنما دمای  $650^{\circ}\text{C}$  را برای قطعات عایقی که با قطعات حامل جریان تماس دارند یا قطعات حامل جریان را نگه می‌دارند، توصیه می‌کند.

همچنین برای محفظه‌ها و پوشش‌هایی که قطعات حامل جریان را نگه نمی‌دارند، دمای  $650^{\circ}\text{C}$  توصیه می‌شود.

## 21. تجهیزات بدون نظارت - شرایط کم‌سخت‌گیرانه‌تر

برای تجهیزاتی که بدون نظارت و تحت شرایط کاری کم‌سخت‌گیرانه‌تر استفاده می‌شوند، شدت پیشنهادی  $750^{\circ}\text{C}$  است.

این مقدار برای هر دو مورد زیر اعمال می‌شود:

- قطعات مرتبط با اجزای حامل جریان؛
- محفظه‌ها و پوشش‌ها.



## 22. تجهیزات تحت نظارت در شرایط سخت گیرانه تر

برای تجهیزات تحت نظارت که در شرایط demanding تر کار می کنند، مقدار راهنمای توصیه شده برای هر دو گروه قطعات عایقی  $750^{\circ}\text{C}$  است.

## 23. تجهیزات بدون نظارت با بارگذاری پیوسته

برای تجهیزات بدون نظارتی که به طور پیوسته تحت بار هستند، راهنما دمای  $850^{\circ}\text{C}$  را برای موارد زیر توصیه می کند:

- قطعات عایقی مرتبط با قطعات حامل جریان؛
- محفظه ها و پوشش ها.

## 24. تجهیزات بدون نظارت با بارگذاری پیوسته در شرایط سخت گیرانه تر

برای تجهیزات بدون نظارت با بارگذاری پیوسته که در معرض شرایط سخت گیرانه تر قرار دارند، شدت توصیه شده به  $960^{\circ}\text{C}$  افزایش می یابد.

این مقدار برای هر دو گروه اعمال می شود.

## 25. متعلقات ثابت در تأسیسات

برای متعلقات ثابت نصب شده، راهنما موارد زیر را مشخص می کند:

**قطعات در تماس با قطعات حامل جریان یا نگهدارنده آنها**

750 °C

**محفظه ها و پوشش های فاقد قطعات حامل جریان**

650 °C

## 26. تجهیزات نزدیک نقطه تغذیه مرکزی ساختمان

برای تجهیزاتی که در نزدیکی نقطه تغذیه مرکزی ساختمان استفاده می شوند، راهنما موارد زیر را مشخص می کند:

**قطعات مرتبط با قطعات حامل جریان**

960 °C

سایر محفظه ها و پوشش ها

750 °C

## 27. حداقل مقاومت در برابر اشتعال و انتشار آتش

هرگاه هدف، تعیین حداقل مقاومت در برابر اشتعال یا انتشار آتش برای قطعات مؤثر در ایجاد خطر آتش سوزی باشد که به صورت دیگری آزمون نشده اند، راهنما دمای 550 °C را برای هر دو گروه مشخص می کند. این دما برای حذف مواد بسیار قابل احتراق در سطح پایه ارزیابی خطر آتش سوزی در نظر گرفته شده است.

## 28. راستی آزمایی سیستم اندازه گیری دما

راستی آزمایی سیستم اندازه گیری دمای سیم داغ باید مطابق IEC 60695-2-10 انجام شود.

IEC 60695-2-11 روش کالیبراسیون دما را به طور مستقل تعریف نمی کند. این راستی آزمایی باید تکمیل شود تا اطمینان حاصل شود دمای نشان داده شده سیم داغ با شدت آزمون مورد نیاز مطابقت دارد.

## 29. آماده سازی شرایطی نمونه های آزمون

مگر آنکه مشخصات محصول مرتبط خلاف آن را تعیین کند، نمونه آزمون و لایه مشخص شده باید به مدت **24 ساعت** در شرایط زیر آماده سازی شوند:

دما

15 °C تا 35 °C

رطوبت نسبی

45 % تا 75 %

آماده سازی شرایطی اهمیت دارد، زیرا میزان رطوبت و قرارگیری در محیط می تواند بر اشتعال و رفتار شعله مواد پلیمری اثر قابل توجهی بگذارد.

## 30. بررسی اولیه

پیش از آزمون، نمونه آزمون باید به صورت **چشمی بررسی شود**.

در صورت الزام مشخصات قابل اعمال، پارامترهای مرتبط زیر نیز باید اندازه گیری شوند:

- پارامترهای مکانیکی؛
- پارامترهای الکتریکی.

این کار اطلاعات مبنا را برای ارزیابی تغییرات ایجادشده در اثر آزمون فراهم می‌کند.

### 31. روش اجرای عمومی آزمون

روش عمومی اعمال سیم داغ در IEC 60695-2-10 مشخص شده است.

IEC 60695-2-11 الزامات ویژه محصولات نهایی را اضافه می‌کند. نمونه آزمون باید به گونه‌ای قرار گیرد که نوک سیم داغ به مکانی اعمال شود که در شرایط استفاده عادی، نماینده‌ترین محل برای تنش حرارتی غیرعادی باشد.

### 32. انتخاب نقطه اعمال سیم داغ

سیم داغ باید به بخشی از سطح نمونه آزمون اعمال شود که:

به احتمال زیاد در استفاده عادی، تنش حرارتی را تجربه می‌کند.

این نقاط ممکن است در نزدیکی موارد زیر باشند:

- قطعات حامل جریان؛
- ترمینال‌های الکتریکی؛
- کنتاکت‌ها؛
- نقاط اتصال؛
- قطعات مقاومتی؛
- عناصر الکتریکی مولد گرما.

استاندارد محصول قابل‌اعمال باید، در صورت امکان، نقطه آزمون موردنظر را مشخص کند.

### 33. جهت‌گیری سیم داغ

سیم داغ باید تا حد امکان در **وضعیت افقی** نگه داشته شود.  
این الزام هندسه‌ای یکنواخت برای اعمال سیم داغ فراهم می‌کند.

### 34. چندین نقطه آزمون روی یک نمونه آزمون

اگر چند محل روی یک نمونه آزمون باید آزمون شوند، آزمون‌های قبلی نباید بر نتایج بعدی اثر بگذارند. اپراتور باید اطمینان حاصل کند که موارد زیر بر نقاط

آزمون بعدی اثر ندارند:

- سوختن قبلی؛
- آسیب حرارتی؛
- تغییر شکل؛
- کربونیزه شدن؛
- آسیب مکانیکی.

اگر نتوان چنین اثری را منتفی دانست، ممکن است طبق مشخصات قابل اعمال به نمونه های آزمون جداگانه نیاز باشد.

### 35. نقطه آزمون در صورت مشخص نبودن ناحیه تنش حرارتی

اگر مشخصات محصول ناحیه در معرض تنش حرارتی غیرعادی را به روشنی تعریف نکرده باشد، نوک سیم داغ به محل **نازک ترین مقطع** اعمال می شود؛ اما ترجیحاً:

**نباید کمتر از 15 mm از لبه بالایی نمونه آزمون فاصله داشته باشد.**

این الزام روشی پیش فرض و یکنواخت برای انتخاب آسیب پذیرترین ناحیه فراهم می کند.

## 36. گیره‌بندی نمونه آزمون

نمونه آزمون باید بدون ایجاد تنش مکانیکی داخلی بیش از حد، به دستگاه آزمون ثابت شود. گیره‌بندی نامناسب می‌تواند:

- نمونه آزمون را تغییر شکل دهد؛
- تمرکز تنش ایجاد کند؛
- تماس حرارتی را تغییر دهد؛
- بر ترک‌خوردگی یا ذوب‌شدن اثر بگذارد؛
- رفتار اشتعال را تحت تأثیر قرار دهد.

بنابراین، فیکسچر باید ضمن حفظ شرایط مکانیکی نماینده، نمونه آزمون را پشتیبانی کند.

## 37. تعداد نمونه‌های آزمون

مگر آنکه مشخصات محصول مرتبط خلاف آن را تعیین کند، آزمون روی یک نمونه آزمون انجام می‌شود.

استانداردهای محصول ممکن است موارد زیر را □□ کنند:

- بیش از یک نمونه آزمون؛
- چندین محل؛
- آزمون‌های تکراری؛



- آماده سازی شرایطی اضافی.

### 38. دوره مشاهده

نمونه آزمون در طول اعمال سیم داغ و برای 30 ثانیه دیگر پس از آن مشاهده می شود.  
در تمام این مدت، اپراتور باید موارد زیر را مشاهده کند:

- نمونه آزمون؛
- قطعات اطراف نمونه آزمون؛
- لایه مشخص شده زیر آن.

### 39. زمان اشتعال - $t_i$

پارامتر  $t_i$  فاصله زمانی از آغاز اعمال سیم داغ تا اشتعال نمونه آزمون یا اشتعال لایه مشخص شده زیر آن است.  
این تأخیر اشتعال اطلاعات مفیدی درباره مقاومت مجموعه در برابر اشتعال حرارتی ارائه می کند.

## 40. زمان خاموش شدن - te

پارامتر **te** از آغاز اعمال سیم داغ تا خاموش شدن شعله‌ها اندازه‌گیری می‌شود. خاموش شدن ممکن است هنگام اعمال سیم داغ یا پس از برداشتن آن رخ دهد. این پارامتر در ارزیابی قبولی/ردی نقش اساسی دارد.

## 41. حداکثر ارتفاع شعله

حداکثر ارتفاع شعله باید مشاهده و گزارش شود. این مقدار به سمت بالا تا نزدیک‌ترین 5 mm بعدی گرد می‌شود. اوج کوتاه‌مدت اولیه شعله هنگام اشتعال، در صورتی که تقریباً 1 ثانیه طول بکشد، می‌تواند نادیده گرفته شود. این کار از اهمیت‌دادن بیش از حد به یک شعله لحظه‌ای اشتعال جلوگیری می‌کند.

## 42. تعریف ارتفاع شعله

ارتفاع شعله، فاصله عمودی بین لبه بالایی سیم داغ هنگام اعمال به نمونه آزمون و نوک قابل مشاهده شعله است. مشاهده باید در **نور کم** انجام شود تا شناسایی بصری نوک شعله آسان تر باشد.

## 43. ماده جدا شده همراه با سیم داغ

در برخی آزمون ها، ماده شعله ور ممکن است به سیم داغ بچسبد و هنگام برداشتن سیم داغ به صورت فیزیکی جدا شود. اگر نمونه آزمون عمدتاً به این دلیل آزمون را قبول کند که ماده شعله ور همراه با سیم داغ جدا شده است، **این وضعیت باید گزارش شود.** این گزارش شفافیت لازم را درباره علت واقعی ادامه نیافتن سوختن فراهم می کند.

## 44. اشتعال لایه مشخص شده

هرگونه اشتعال ماده قرارگرفته زیر نمونه آزمون باید ثبت شود. این موضوع ضروری است، زیرا آزمون سیم داغ علاوه بر رفتار خودخاموش‌شوندگی، انتشار ثانویه آتش ناشی از ذرات در حال سقوط را نیز ارزیابی می‌کند.

## 45. اندازه‌گیری‌های مکانیکی و الکتریکی

در صورت الزام مشخصات محصول مرتبط، پارامترهای مکانیکی و الکتریکی باید پس از آزمون نیز اندازه‌گیری شوند. نمونه‌ها می‌توانند شامل پارامترهای تعریف‌شده در استاندارد محصول باشند.

IEC 60695-2-11 به‌تنهایی مقادیر پذیرش عمومی مکانیکی یا الکتریکی را تعریف نمی‌کند.

## 46. ارزیابی قبولی/ردی

مگر آنکه مشخصات محصول مرتبط معیارهای متفاوتی تعریف کند، نمونه آزمون در صورتی آزمون سیم داغ را قبول می‌کند که:

## شرط 1

در طول دوره آزمون مربوطه، **هیچ شعله‌ور شدن یا گداختگی** وجود نداشته باشد؛

یا

در صورت وقوع شعله‌ور شدن یا گداختگی، تمام شرایط لازم زیر برآورده شوند.

## 47. معیار خاموش شدن

در صورت وقوع شعله‌ور شدن یا گداختگی، باید ظرف **30 ثانیه پس از برداشتن سیم داغ** خاموش شود.

در اصطلاح استاندارد:

$$t_e \leq t_a + 30 \text{ s}$$

که در آن:

- **$t_a$**  مدت اعمال سیم داغ است؛
- **$t_e$**  زمان از آغاز اعمال تا خاموش شدن شعله است.

## 48. معیار کاغذ بسته‌بندی

هرگاه لایه مشخص شده از کاغذ بسته‌بندی تشکیل شده باشد، کاغذ بسته‌بندی نباید مشتعل شود. بنابراین، نمونه آزمونی که خود خاموش می‌شود، در صورتی که ماده شعله‌ور در حال سقوط لایه مشخص شده زیر آن را مشتعل کند، همچنان مردود است.

## 49. منطق عملی قبولی/ردی

به صورت ساده شده:

**قبول**

اگر:

**بدون شعله / بدون گداختگی**

یا

**شعله یا گداختگی طرف 30 s پس از برداشتن سیم داغ خاموش شود و کاغذ بسته‌بندی مشخص شده مشتعل نشود.**

## مردود

اگر:

- احتراق بیش از زمان مجاز ادامه یابد؛
- یا کاغذ بسته بندی مشخص شده مشتعل شود.

استاندارد محصول مرتبط ممکن است الزامات اضافی تعیین کند.

## 50. اهمیت مشخصات محصول مرتبط

IEC 60695-2-11 بارها به **مشخصات مرتبط** ارجاع می دهد، زیرا شرایط دقیق آزمون به نوع محصول ارزیابی شده بستگی دارد. مشخصات محصول باید چند پارامتر مهم را تعریف کند.

## 51. اطلاعاتی که باید در استاندارد محصول مشخص شود

مشخصات مرتبط باید موارد زیر را تعریف کند:

## 1. نمونه آزمون

نوع و شرح نمونه آزمون.

## 2. آماده سازی نمونه آزمون

نحوه آماده سازی محصول یا قطعه برای آزمون.

## 3. آماده سازی شرایطی

هرگونه آماده سازی شرایطی متفاوت با الزام پیش فرض.

## 4. تعداد نمونه های آزمون

تعداد نمونه های آزمون مورد نیاز.

## 5. سطح و نقطه اعمال

سطحی که باید آزمون شود و نقطه دقیق تماس سیم داغ.

## 6. لایه مشخص شده

ماده زیر نمونه آزمون که برای ارزیابی ذرات شعله ور استفاده می شود.



## 7. دمای آزمون

شدت مورد نیاز سیم داغ.

## 8. نقاط آزمون متعدد

اینکه آیا چند محل باید روی یک نمونه آزمون آزمون شوند یا خیر.

## 9. معیارهای پذیرش اضافی

اینکه آیا الزامات استاندارد قبولی/ردی کافی هستند یا برای موارد زیر معیارهای اضافی لازم است:

- $t_i$
- $t_e$
- ارتفاع شعله.

## 10. پارامترهای مکانیکی/الکتریکی

هرگونه اندازه گیری عملکردی یا الکتریکی مورد نیاز پیش یا پس از آزمون.

## 52. توالی کامل آزمون

توالی عملی آزمون IEC 60695-2-11 را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

### گام 1 - شناسایی مشخصات محصول قابل‌اعمال

موارد زیر را تعیین کنید:

- دمای موردنیاز سیم داغ؛
- محل آزمون؛
- پیکربندی نمونه آزمون؛
- معیارهای پذیرش.

### گام 2 - انتخاب نمونه آزمون

در صورت امکان از محصول نهایی کامل استفاده کنید.

در صورت نیاز، مقطع یا قطعه‌ای نماینده آماده کنید.

### گام 3 - اطمینان از کوچک نبودن قطعه

تأیید کنید که نمونه آزمون طبق تعریف ابعادی، برای آزمون سیم داغ مناسب است.

#### **گام 4 - آماده سازی شرایطی نمونه آزمون**

مگر آنکه خلاف آن مشخص شده باشد:

**24 h در دمای 15-35 °C و رطوبت نسبی 45-75 %.**

#### **گام 5 - بررسی نمونه آزمون**

بررسی چشمی و هرگونه اندازه گیری اولیه الکتریکی یا مکانیکی مورد نیاز را انجام دهید.

#### **گام 6 - آماده سازی لایه مشخص شده**

ماده مورد نیاز را مطابق پیکربندی محصول زیر نمونه آزمون قرار دهید.

#### **گام 7 - راستی آزمای دمای آزمون**

سیستم اندازه گیری دمای سیم داغ را مطابق IEC 60695-2-10 بررسی کنید.

#### **گام 8 - نصب نمونه آزمون**

از ایجاد تنش مکانیکی بیش از حد جلوگیری کنید.

#### **گام 9 - انتخاب نقطه اعمال**

سیم داغ را به محلی اعمال کنید که انتظار می رود بیشترین تنش حرارتی را تجربه کند.

### **گام 10 - اعمال سیم داغ**

روش عمومی اعمال را مطابق IEC 60695-2-10 انجام دهید.

### **گام 11 - مشاهده نمونه آزمون**

موارد زیر را پایش کنید:

- اشتعال؛
- گداختگی؛
- شعله؛
- ذرات در حال سقوط؛
- قطعات اطراف؛
- لایه مشخص شده.

### **گام 12 - ثبت $t_i$**

زمان رسیدن به اشتعال را ثبت کنید.

### **گام 13 - ثبت $t_e$**

زمان تا خاموش شدن شعله را ثبت کنید.

#### **گام 14 - ثبت ارتفاع شعله**

مقدار را به سمت بالا تا نزدیک‌ترین 5 mm بعدی گرد کنید.

#### **گام 15 - مشاهده به مدت 30 s پس از اعمال**

مشاهده نمونه آزمون و لایه مشخص‌شده را ادامه دهید.

#### **گام 16 - ارزیابی نتیجه**

تعیین کنید که آیا:

- شعله‌ور شدن یا گداختگی در مدت مجاز خاموش می‌شود؛
- لایه مشخص‌شده مشتعل نشده باقی می‌ماند.

#### **گام 17 - ثبت اندازه‌گیری‌های عملکردی مورد نیاز**

هرگونه اندازه‌گیری الکتریکی یا مکانیکی لازم را انجام دهید.

#### **گام 18 - صدور گزارش آزمون**

تمام شرایط و مشاهدات مرتبط آزمون را مستند کنید.

## 53. چکلیست ضروری پیش از آزمون

پیش از شروع آزمون IEC 60695-2-11، موارد زیر را بررسی کنید:

- ✓ مشخصات محصول قابل اعمال شناسایی شده است
- ✓ دمای صحیح آزمون انتخاب شده است
- ✓ دستگاه سیم داغ با IEC 60695-2-10 منطبق است
- ✓ سیستم اندازه گیری دما راستی آزمایی شده است
- ✓ نمونه آزمون صحیح انتخاب شده است
- ✓ نمونه آزمون نماینده پیکربندی استفاده عادی است
- ✓ نمونه آزمون به عنوان قطعه کوچک مستثنا نیست
- ✓ نمونه آزمون طبق الزامات آماده سازی شرایطی شده است
- ✓ سطح صحیح آزمون انتخاب شده است
- ✓ نقطه صحیح اعمال انتخاب شده است
- ✓ نمونه آزمون بدون تنش بیش از حد نصب شده است
- ✓ لایه مشخص شده صحیح نصب شده است
- ✓ فاصله صحیح نمونه آزمون تا لایه تعیین شده است
- ✓ قطعات اطراف به درستی بازنمایی شده اند
- ✓ اندازه گیری های اولیه مورد نیاز تکمیل شده اند
- ✓ سیستم زمان سنجی مشاهده آماده است
- ✓ امکان مشاهده ارتفاع شعله وجود دارد

✓ اپراتور آزمون برای ثبت ti و te آماده است

## 54. پارامترهای ضروری - مرجع سریع

استاندارد: IEC 60695-2-11:2000

نوع آزمون: آزمون اشتعال پذیری سیم داغ

کاربرد: محصولات نهایی

محصولات تحت پوشش: تجهیزات، زیرمجموعه ها و قطعات

مرجع دستگاه: IEC 60695-2-10

دماهای آزمون ترجیحی

550 °C ±10 K

650 °C ±10 K

750 °C ±10 K

850 °C ±15 K

960 °C ±15 K

آماده سازی شرایطی پیش فرض

24 h

دما: 15-35 °C

رطوبت نسبی: 45-75 %

**تجهیزات نصب شده روی دیوار**

لایه مشخص شده:

**200 ± 5 mm زیر تجهیزات**

**تجهیزات مستقل**

امتداد لایه مشخص شده:

**≤ 100 mm خارج از پایه تجهیزات در تمام جهات**

**تعداد پیش فرض آزمون**

**یک نمونه آزمون**

مگر آنکه خلاف آن مشخص شده باشد.

**مشاهده**

در طول اعمال سیم داغ به علاوه:



**30 s پس از آن**

**الزام پیش فرض خاموش شدن**

$$t_e \leq t_a + 30 \text{ s}$$

**الزام لایه مشخص شده**

**عدم اشتعال کاغذ بسته بندی**

## **55. تفسیر مهندسی آزمون**

آزمون سیم داغ نباید فقط به این پرسش محدود شود:

**«آیا پلاستیک آتش می گیرد؟»**

این آزمون سناریوی گسترده تری از خطر آتش سوزی را ارزیابی می کند.

منطق مهندسی آزمون چنین است:

**گرمایش موضعی غیرعادی**



**اشتعال احتمالی قطعه**



**مدت شعله ور شدن یا گداختگی**



**احتمال تولید ذرات شعله ور**



**اشتعال احتمالی مواد اطراف**



**انتشار احتمالی آتش**

به همین دلیل، آزمون هم خود قطعه و هم ماده قرار گرفته زیر آن را ارزیابی می کند.

## 56. تفاوت آزمون محصول نهایی و آزمون ماده

نکته مهم این است که IEC 60695-2-11 به طور خاص برای محصولات نهایی در نظر گرفته شده است.

عملکرد پلیمر خام به تنهایی ممکن است رفتار محصول نهایی را مستقیماً پیش بینی نکند.

رفتار واقعی در برابر آتش می تواند تحت تأثیر موارد زیر قرار گیرد:

- ضخامت دیواره؛
- هندسه؛
- ریب ها؛
- باز شوها؛
- تهویه؛
- این سرت های فلزی؛
- رساناهای مجاور؛
- شرایط نصب؛
- جرم حرارتی؛
- جهت گیری.

بنابراین، آزمون قطعه نهایی اطلاعاتی ارائه می کند که همیشه تنها از طبقه بندی ماده خام به دست نمی آید.

## 57. چرا نقطه آزمون اهمیت دارد

سیم داغ باید در محلی اعمال شود که گرمایش غیرعادی به طور واقع بینانه در آن انتظار می رود. آزمون یک ناحیه دلخواه یا بیش از حد ضخیم می تواند نتیجه ای ایجاد کند که نماینده خطر واقعی آتش سوزی نباشد.

به همین دلیل، استاندارد اولویت را به ناحیه ای می دهد که احتمال دارد در استفاده عادی تنش حرارتی را تجربه کند.

اگر آن محل تعریف نشده باشد، نازک ترین مقطع به عنوان روش پیش فرض عملی استفاده می شود.

## 58. چرا لایه مشخص شده اهمیت دارد

یک محصول ممکن است ظاهراً خود خاموش شود، اما در صورت سقوط موارد زیر روی ماده قابل احتراق همچنان خطر جدی آتش سوزی ایجاد کند:

- پلاستیک مذاب؛
- قطرات شعله ور؛
- قطعات گداخته.

بنابراین، لایه مشخص شده **اشتعال ثانویه و انتشار آتش** را ارزیابی می کند.

این اصل یکی از مهم ترین اصول ایمنی در آزمون سیم داغ محصول نهایی است.

## 59. محتوای عملی گزارش آزمون

گزارش آزمون دقیق باید حداقل شامل موارد زیر باشد:

- استاندارد آزمون؛
- مشخصات محصول قابل اعمال؛
- شناسه محصول؛
- شرح نمونه آزمون؛
- آماده سازی نمونه آزمون؛
- آماده سازی شرایطی؛
- تعداد نمونه های آزمون؛
- سطح آزمون انتخاب شده؛
- نقطه اعمال سیم داغ؛
- دمای آزمون؛
- لایه مشخص شده؛
- هندسه نمونه آزمون تا لایه؛
- وقوع اشتعال؛
- زمان اشتعال،  $t_i$ ؛
- زمان خاموش شدن،  $t_e$ ؛
- حداکثر ارتفاع شعله؛

- اشتعال لایه مشخص شده؛
- رفتار غیرعادی؛
- ماده جدا شده همراه با سیم داغ؛
- اندازه گیری های الکتریکی/ مکانیکی اضافی؛
- ارزیابی نهایی قبولی/ردی.

قالب دقیق گزارش ممکن است با مشخصات محصول قابل اعمال تکمیل شود.

## 60. نتیجه گیری

IEC 60695-2-11 روشی ساختاریافته برای ارزیابی واکنش محصولات نهایی الکتروتکنیکی به گرمایش موضعی غیرعادی ارائه می دهد. یک آزمون معتبر چیزی فراتر از صرفاً گرم کردن یک قطعه پلاستیکی است.

ارزیابی کامل شامل موارد زیر است:

**انتخاب نمونه آزمون نماینده**



**آماده سازی شرایطی صحیح**



**شدت صحیح سیم داغ**



**نقطه اعمال نماینده**



**اعمال کنترل شده مطابق IEC 60695-2-10**



**مشاهده اشتعال و رفتار شعله**



**ارزیابی ذرات شعله‌ور و گداخته**



**ارزیابی لایه مشخص شده**



## اعمال معیارهای تعریف شده قبولی/ردی

اصل اساسی پذیرش چنین است:

نمونه آزمون نباید مشتعل یا گداخته شود؛ یا در صورت وقوع شعله ور شدن/گداختگی، باید ظرف 30 s پس از برداشتن سیم داغ، بدون اشتعال لایه کاغذ بسته بندی مشخص شده خاموش شود؛ مگر آنکه مشخصات محصول مرتبط معیارهای متفاوتی تعیین کرده باشد.

<https://ahp-makina.com/iec-60695-2-10-glowing-hot-wire-based-test-methods-glow-wire-apparatus-and-common-test-procedure--equipment/>