

استانداردسازی و انجام آزمونهای کنترل کیفیت درایوهای سرعت متغیر و ضرورت آن

رضا خلیلزاده¹، سیده مهناز ابرهیمی²، حسن ابراهیمی راد³

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، r.khalilzadeh@modares.ac.ir
² کارشناس پژوهشی مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته، پژوهشگاه نیرو، تهران، mebrahimi@nri.ac.ir
³ مدیر طرح انتقال و توسعه دانش و فناوری الکتروموتورهای القایی پربازده و درایو، پژوهشگاه نیرو، تهران، hebrahimirad@nri.ac.ir

چکیده

امروزه کاربرد تجهیزات کنترلکننده دور موتورهای الکتریکی (VFD)¹ در اغلب صنایع کشور رو به رشد است. برای ساخت این تجهیزات نیز مانند سایر تجهیزات الکتریکی لازم است استانداردهای مربوطه برآورده شود. در صورت عدم کسب استانداردهای مربوطه، ایمنی کارکنان، محیط زیست و محیط کارخانه در خطر خواهد بود و تأثیرات مخرب نیز بر کیفیت توان شبکه توزیع برق کشور از منظر آلودگیهای هارمونیک خواهد داشت. همچنین بروز حوادث پیشبینی نشده از قبیل حالت گذاری الکتریکی تخلیه الکترواستاتیک و ...، خساراتی را به تجهیزات درایو غیر استاندارد وارد مینماید که در نهایت منجر به خسارت مالی و حتی جانی غیر قابل جبران خواهد شد. لذا توسعه آزمایشگاه مرجع و تدوین استانداردها و دستورالعملهای ملی جهت استانداردسازی و تأیید کیفیت درایوهای تولید شده در داخل کشور و همچنین برخی از درایوهای وارداتی میتواند کمک شایانی به بهبود کیفیت توان شبکه برق کشور و همچنین افزایش ایمنی کارکنان و سایر تجهیزات متصل به درایو باشد. در این مقاله، پس از ارائه آمار گسترده واردات تجهیزات درایو به کشور، به معرفی و دستهبندی انواع استانداردها و آزمونها و تجهیزات لازم جهت انجام آزمون و تأیید کیفیت درایو پرداخته خواهد شد.

واژه های کلیدی

کنترلکننده دور موتور الکتریکی، آزمایشگاه مرجع تست و ارزیابی درایو، استانداردها، آزمونها، تجهیزات

1. مقدمه

در سالهای اخیر بهینه سازی مصرف انرژی و به ویژه انرژی الکتریکی اهمیت ویژه ای پیدا نموده است و استفاده از درایو در موتورهای الکتریکی میتواند گامی بزرگ در زمینه کاهش مصرف انرژی الکتریکی باشد. به دلیل گسترش روزافزون نیاز عمومی به استفاده از انواع موتورهای الکتریکی در بخشهای مختلف اعم از صنایع، کارخانجات،

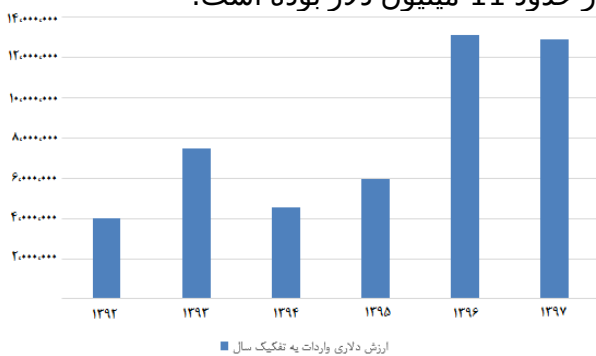
آسانسورها، پله های برقی و غیره، نیاز به تولید و استفاده از سیستمهای درایو به منظور راه اندازی مناسب و کنترل سرعت موتورهای الکتریکی بیش از پیش احساس می شود. در همین راستا، شرکت های مختلفی در سرتاسر جهان و همچنین ایران اقدام به تولید انواع درایو با سطوح توانی متنوع برای کاربردهای مختلف نموده اند. بکارگیری درایو در صنایع، مستلزم شناخت دقیق استانداردهای این فناوری به منظور دستیابی به اصول عملکرد، طراحی و ساخت آن و نیز چگونگی انجام آزمونهای مرتبط با آنها می باشد. نتیجه این است که با استفاده از محصولات استاندارد و با کیفیت در سطح صنایع و کارخانجات مختلف، اتلاف انرژی و اثرات هارمونیک مخرب روی شبکه ی برق کاهش می یابند، خطرات جانی برای افرادی که با تجهیزات سر و کار دارند به حداقل می رسد و خسارت های مالی ناشی از خرابی خود تجهیز و یا خرابی بخشی از خط تولید یک کارخانه که ممکن است به خاطر یک محصول غیر استاندارد ایجاد شود، بسیار کمتر خواهد شد [1] و [2]. بدین منظور اغلب شرکت های خارجی و داخلی تولیدکننده ی سیستم های درایو، آزمایشگاهی مخصوص دارند که محصولات خود را پس از تولید، جهت ارزیابی به آنجا ارجاع می دهند. همچنین آزمایشگاه های مرجعی جهت تست و ارزیابی محصولات و ارائه ی گواهی نامه های معتبر در کشورهای مختلف فعالیت می کنند که هر یک باید الزامات مربوط به استاندارد ISO17025 را برآورده نمایند [3].

استانداردها به طور کلی به پنج دسته تقسیم می شوند. دسته اول استانداردهای کارخانه ای هستند که برخی شرکت های بزرگ این استانداردها را برای محصولات خود ارائه می دهند که از جمله آن میتوان به استانداردهای کارخانه ای سه شرکت معتبر و بزرگ ساخت درایو موتورهای الکتریکی یعنی ABB، SIEMENS و YASKAWA اشاره نمود. دسته دوم استانداردهای انجمنی یا صنفی، نظیر استاندارد IEEE² هستند که گروهی از افراد که در یک زمینه تخصص دارند، استانداردهای مربوط به

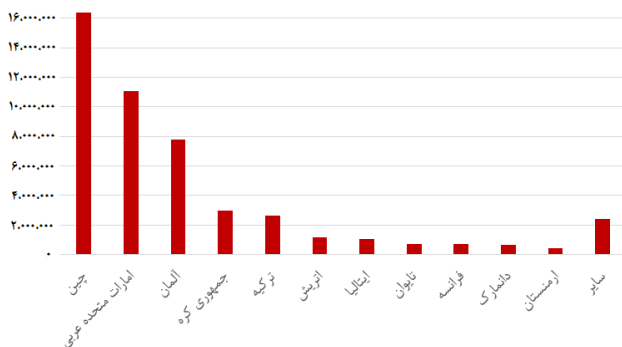
² Institute of Electrical and Electronics Engineers

¹ Variable Frequency Drive

در شکل 1، ارزش دلاری سیستم‌های درایو وارد شده از کشورهای مختلف از سال 1392 تا 1397 به ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است، روند واردات به شکل معنی‌داری تحت تأثیر افزایش استفاده از موتورها و درایوها با گذر زمان، رشد فناوری و صنایع و همچنین روابط سیاسی و بین‌المللی قرار داشته است. در سال‌های ابتدایی آمار ارائه شده، به دلیل وجود تحریم‌های اقتصادی و بین‌المللی، میزان واردات به نسبت سال 1396 و 1397 که بخشی از این تحریم‌ها تحت تأثیر معاهدات بین‌المللی موقتاً لغو شدند، بسیار کمتر بوده است. قابل مشاهده است که در سال 1392 میزان واردات سیستم‌های درایو چیزی در حدود 4 میلیون دلار بوده است، اما در سال‌های 1396 و 1397 به حدود 13 میلیون دلار رسیده است. همچنین در شکل 2، مجموع ارزش دلاری واردات درایو از کشورهای مختلف طی سال‌های 1392 تا 1397 ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میزان واردات سیستم‌های درایو از کشورهای چین و امارات نسبت به سایر کشورها به میزان قابل توجهی بیشتر است. میزان واردات از کشور چین در این 6 سال بیش از 16 میلیون دلار و از کشور امارات متحده عربی چیزی در حدود 11 میلیون دلار بوده است.



شکل 1: ارزش دلاری سیستم‌های درایو وارداتی به کشور به تفکیک سال [4]



شکل 2: مجموع ارزش دلاری درایوهای وارداتی از کشورهای مختلف طی سال‌های 1392 تا 1397 [4]

یکی از دلایل این تفاوت در ارزش دلاری وارداتی می‌تواند روابط سیاسی و بین‌المللی جمهوری اسلامی ایران با این کشورها باشد و لازم به ذکر است که تجهیزات وارد شده از امارات نیز غالباً

زمینه کاری خود تهیه کرده و در اختیار دیگر افراد مرتبط با آن زمینه قرار می‌دهند. دسته سوم استانداردهای ملی هستند که سازمان‌های ملی استاندارد کشورهای مختلف آن‌ها را ارائه می‌دهند. به طور مثال استاندارد ANSI¹ در ایالات متحده آمریکا، GOST² در روسیه، BSI³ در بریتانیا، DIN⁴ در آلمان، ANFOR⁵ در فرانسه و ISIRI⁶ در ایران از جمله استانداردهای ملی هستند. دسته چهارم استانداردهای منطقه‌ای هستند که از طرف چند کشور به صورت هماهنگ‌کننده ارائه شده و بین تمامی کشورهای آن منطقه دارای اعتبار هستند، استاندارد EN⁷ در کشورهای عضو اتحادیه اروپا و استاندارد UL⁸ در کشورهای منطقه آمریکای شمالی از جمله استانداردهای منطقه‌ای هستند. دسته آخر نیز استانداردهای بین‌المللی هستند که در بالاترین مرتبه بوده و در اکثر کشورها معتبر می‌باشند که از جمله آن‌ها استاندارد ISO⁹ و IEC¹⁰ را نام برد. امروزه در زمینه درایو استانداردها و دستورات عملیاتی بسیار زیادی در کشورهای پیشرفته صنعتی تدوین و مورد استفاده قرار گرفته اند لذا با توجه به اعتبار استانداردهای بین‌المللی، تمرکز اصلی مقاله بر بررسی استانداردهای IEC در حوزه درایو موتورهای الکتریکی و آزمون‌های آن می‌باشد. در بخش 2 این مقاله با مراجعه به اطلاعات ارائه‌شده توسط اداره گمرک جمهوری اسلامی ایران، آماری از واردات سیستم‌های درایو به کشور ارائه می‌گردد. در بخش 3 به معرفی و دسته‌بندی انواع آزمون‌های مربوط به سیستم‌های درایو با سرعت متغیر پرداخته می‌شود. در بخش 4، استاندارد IEC مربوط به درایو موتورهای الکتریکی معرفی خواهد شد. در بخش 5 تعدادی از تجهیزات مهم مورد نیاز جهت انجام آزمون‌ها به شکل مختصر معرفی می‌شوند و نهایتاً در بخش 6 به جمع‌بندی مقاله و نتیجه‌گیری آن پرداخته می‌شود.

2. آمار واردات سیستم‌های درایو به کشور

بخش قابل توجهی از سیستم‌های درایو مورد استفاده در صنایع کشور از سازندگان خارجی تأمین می‌شود. جهت دسترسی به آمار واردات این درایوها در سال‌های مختلف، نیاز به مراجعه به وبسایت اداره گمرک جمهوری اسلامی ایران است [4].

در این وبسایت، آمار تمام اقلام وارداتی به کشور به تفکیک کد گمرکی کالا، سال، وزن و ارزش دلاری و ریالی ثبت شده است. کد گمرکی مربوط به سیستم‌های درایو، 85044050 بوده که با عنوان اینورترهای کنترل دور مشخص شده است.

¹ American National Standards Institute

² State Standard of the Soviet Union

³ British Standards Institute

⁴ Deutches Institut fur Normung

⁵ Association Française de Normalisation

⁶ Institute of Standards & Industrial Research of Iran

⁷ European Standard

⁸ Underwriters Laboratories

⁹ International Organization for Standardization

¹⁰ International Electrotechnical Commission

در شکل 4 آزمون‌های سازگاری الکترومغناطیسی به طور خلاصه دسته‌بندی شده است.

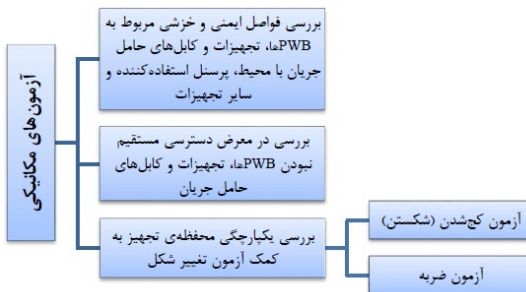
2.3- آزمون‌های مکانیکی: در تجهیزات الکتریکی مختلف و به طور خاص در سیستم‌های درایو،

فواصل ایمنی⁶ و فواصل خزشی⁷ نسبت به محیط اطراف پرسنلی که از آن استفاده می‌کنند و سایر تجهیزات پیرامون آن باید رعایت شوند. همچنین باید اطمینان حاصل شود که کابل‌ها، بوردهای سیم‌کشی چاپ‌شده⁸ و بخش‌هایی از تجهیز که حامل جریان هستند، در معرض دسترسی مستقیم قرار نداشته باشند [17]. از دیگر مسائل حائز اهمیت در بخش آزمون‌های مکانیکی مطمئن شدن از یکپارچگی محافظه سیستم درایو است. برای تأیید این مهم، آزمون‌های تغییر شکل⁹ به دو صورت آزمون کج شدن¹⁰ (شکستن) و آزمون ضربه¹¹، تعریف شده‌اند [17].

آزمون‌های مکانیکی نوعاً با بررسی‌های بصری و یا اندازه‌گیری مطابق با استانداردهای مربوطه و یا انجام برخی آزمون‌های الکتریکی که در ادامه تشریح خواهد شد، انجام می‌گیرند. انواع آزمون‌های مکانیکی در شکل 5 ارائه شده است.



شکل 4 : انواع آزمون‌های سازگاری الکترومغناطیسی



شکل 5 : انواع آزمون‌های مکانیکی

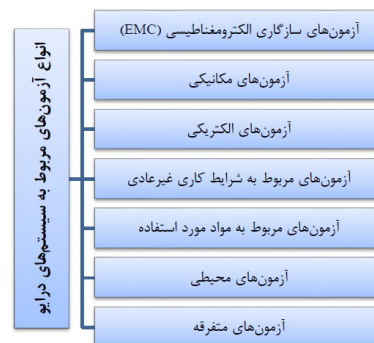
متعلق به کشور چین است. لذا طبق آمار اداره گمرک جمهوری اسلامی ایران حجم قابل توجهی از درایوهای وارداتی به کشور چینی هستند که برخی از برندهای آن نیز کیفیت مناسبی ندارد و به دلیل هارمونیک‌های ایجاد شده توسط آنها می‌تواند کیفیت توان در شبکه برق کشور را تحت تأثیر قرار دهد.

3. دسته‌بندی انواع آزمون‌های مربوط به سیستم‌های درایو

آزمون‌های مربوط به سیستم‌های درایو را می‌توان به طور کلی به 7 دسته تقسیم‌بندی کرد: آزمون‌های سازگاری الکترومغناطیسی¹، آزمون‌های مکانیکی، آزمون‌های الکتریکی آزمون‌های مربوط به شرایط کاری غیر عادی، آزمون‌های مربوط به مواد مورد استفاده، آزمون‌های مربوط به محیط‌های متفرقه. این دسته‌بندی در شکل 3 نشان داده شده است.

1.3- سازگاری الکترومغناطیسی: شاخه‌ای از مهندسی برق است که به تولید، انتشار و دریافت ناخواسته انرژی الکترومغناطیسی مربوط می‌شود و می‌تواند موجب اختلالات الکترومغناطیسی و یا آسیب‌های فیزیکی به تجهیزات شود [5]. رشد روزافزون فناوری و گسترش کاربرد تجهیزات الکتریکی و مخابراتی در زندگی بشر، لزوم سازگار بودن این تجهیزات را چه از نظر مصونیت در برابر اختلالات الکترومغناطیسی و چه از نظر عدم گسیل‌های مخرب الکترومغناطیسی در محیط‌های مختلف از قبیل مناطق مسکونی، تجاری، درمانی و صنعتی افزایش داده است [6].

به طور کلی در آزمون سازگاری الکترومغناطیسی، باید دو مسئله مورد بررسی قرار گیرد. اول، تأثیر متقابلی که دستگاه و محیط اطراف بر روی هم دارند و دوم، مصونیت تجهیز مورد نظر نسبت به اختلالات الکترومغناطیسی موجود در محیط اطراف، مانند میدان‌های مغناطیسی امواج فرکانس رادیویی تابشی یا هدایتی، حالت‌های گذاری الکتریکی سریع یا رگباره²، جریان‌های فراتاخت³، تخلیه‌های الکترواستاتیکی⁴ و افت یا وقفه‌های ولتاژی⁵ [6].



شکل 3 : دسته‌بندی کلی آزمون‌های مربوط به سیستم‌های درایو

⁶ Clearance distances

⁷ Creepage distances

⁸ Printed Wiring Board (PWB)

⁹ Deformation

¹⁰ Deflection

¹¹ Impact

¹ Electromagnetic Compatibility (EMC)

² Electrical Fast Transient (EFT) / Burst

³ Surge

⁴ Electrostatic Discharge (ESD)

⁵ Voltage dips and interruptions

شکل 8 : انواع آزمون‌های مربوط به مواد مورد استفاده در سیستم درایو

3.6- آزمون محیطی: نوع دیگری از آزمون‌ها که انجام آن‌ها روی سیستم‌های درایو ضروریست، آزمون‌های محیطی هستند. این آزمون‌ها به این منظور انجام می‌شوند که عملکرد سیستم درایو تحت شرایط محیطی مختلف مانند گرمای شدید در نواحی خشک یا مرطوب به چه شکل خواهد بود و یا در صورتی که تجهیز تحت لرزش‌هایی با شدت‌ها مختلف یا تحت فشار هیدرواستاتیکی خاص قرار گیرد، چه عملکردی از خود نشان خواهد داد [7]. در شکل 9 لیست آزمون‌های محیطی قابل اعمال بر درایو ارائه شده است.

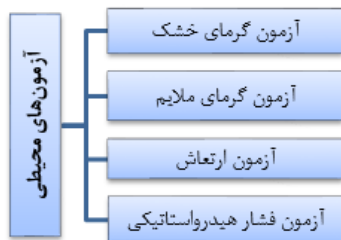
علاوه بر موارد ذکر شده در فوق، آزمون‌های ضروری دیگری نیز وجود دارند که باید روی سیستم درایو انجام شوند، از جمله مهم‌ترین این آزمون‌ها مطابق شکل 10، می‌توان به آزمون تعیین بازدهی، بررسی عملکرد درایو تحت بار سبک، بررسی عملکرد در جریان نامی و بررسی میزان تحمل اضافه جریان، اشاره کرد [8 و 9].

4. معرفی انواع استانداردهای مربوط به سیستم‌های درایو

اصلی‌ترین و ابتدایی‌ترین استاندارد که الزامات آن باید در مواجهه با یک سیستم درایو مورد تأیید قرار گیرد، استاندارد IEC61800-4 است. این استاندارد به بیان الزامات کلی مربوط به سیستم‌های درایو با سرعت متغیر و مشخصات نامی آن‌ها می‌پردازد [10].

همان‌طور که در بخش معرفی و دسته‌بندی آزمون‌ها بیان شد، مسئله‌ی حائز اهمیت دیگر در سیستم‌های درایو، سازگاری الکترومغناطیسی آن است. در استاندارد IEC61800-3، الزامات سازگاری الکترومغناطیسی سیستم‌های درایو بیان شده است. این الزامات عبارتند از محدوده‌ی هارمونیک‌های تزریقی، حداکثر ولتاژ تخلیه‌ی جزئی قابل تحمل برای تجهیز و غیره [6].

در مجموعه استانداردهای سری IEC61000، الزامات مربوط به انواع تجهیزات تحت آزمون به طور کلی بیان شده است. به عنوان مثال در استاندارد IEC61000-4-2، الزامات ایمنی و روش‌های آزمون برای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی که در معرض تخلیه‌های الکترواستاتیکی قرار می‌گیرند، ارائه شده است [11].



شکل 9 : انواع آزمون‌های محیطی

3.3- آزمون الکتریکی: از دیگر آزمون‌هایی که باید روی تجهیزات مختلف و به طور خاص سیستم‌های درایو انجام گیرد، می‌توان به آزمون‌های الکتریکی اشاره کرد. این آزمون‌ها علاوه بر این که میزان تحمل سیستم درایو در برابر برخی شرایط الکتریکی خاص مانند تخلیه‌ی جزئی¹ یا اتصال کوتاه در بخش‌های مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهند، به منظور مورد آزمایش قراردادن عایق تجهیز و بررسی فواصل ایمنی و خزشی نیز انجام می‌شوند [7]. در شکل 6 انواع آزمون‌های الکتریکی مربوط به درایو ارائه شده است.

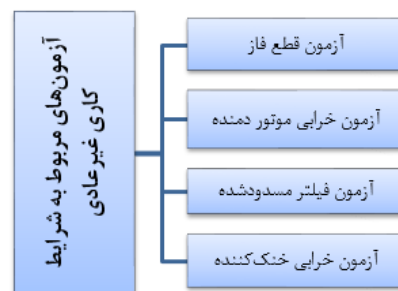
3.4- آزمون شرایط کاری غیر عادی: دسته‌ی دیگری از آزمون‌ها که روی سیستم‌های درایو انجام می‌گیرند، مربوط به بررسی عملکرد آن در شرایط کاری غیرعادی است که از جمله آن می‌توان به قطع یک فاز، خرابی دمنده‌ی موتور، مسدود شدن فیلتر و یا خرابی خنک‌کننده اشاره کرد [7]. انواع این آزمون‌ها در شکل 7 نشان داده شده است.

3.5- آزمون مواد: از دیگر آزمون‌هایی که روی سیستم‌های درایو انجام می‌شوند، بررسی عملکرد موادی است که در تولید این تجهیز یا بخش‌های مختلف آن به کار رفته است. به طور مثال در صورتی که دمای سیم‌ها از حدی بالاتر برود، باید میزان برآمدگی و یا تغییر شکل آنها و همچنین تأثیری که بر روی عملکرد درایو دارد، مورد بررسی قرار گیرد، و یا در آزمون اشتعالپذیری باید میزان اشتعال‌پذیری بخش‌های مختلف سیستم درایو ارزیابی شود [7].

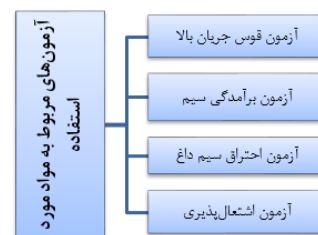
انواع آزمون‌های مربوط به مواد مورد استفاده در تجهیز در شکل 8 ارائه شده‌اند.



شکل 6 : انواع آزمون‌های الکتریکی



شکل 7 : انواع آزمون‌های مربوط به شرایط کاری غیرعادی



¹ Partial Discharge

اختلالات نیاز است. به عنوان مثال مولد فراتاخت، مولد حالت گذرای الکتریکی سریع، مولد وقفه و ولتاژی، مولد تخلیه الکتروستاتیکی و غیره. همچنین برای اعمال این اختلالات به تجهیز مورد نظر، استفاده از شبکه‌های کویلینگ/دی‌کویلینگ مورد نیاز خواهد بود. بسیاری از مولدهای اختلال، به صورت داخلی این شبکه‌های کویلینگ و دی‌کویلینگ را دارند.

در شکل 11 و شکل 12 به ترتیب یک نمونه مولد حالت گذرای الکتریکی سریع و یک نمونه تفنگ مولد تخلیه الکتروستاتیکی ساخت شرکت Teseq نمایش داده شده است.

جهت اندازه‌گیری هارمونیک‌ها و تحلیل آن‌ها نیز به یک تحلیل‌گر توان (رومیزی یا قابل حمل) احتیاج است. شرکت Tektronix یکی از معروف‌ترین شرکت‌های سازنده این نوع تجهیزات اندازه‌گیری و تحلیل است. یک نمونه تحلیل‌گر توان رومیزی ساخت این شرکت در شکل 13 نشان داده شده است.

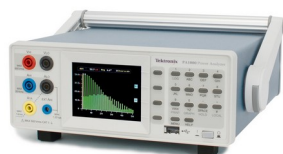
جهت انجام آزمون تعیین بازدهی داریو، تجهیزاتی از جمله دینامومتر نیز مورد نیاز خواهند بود. جهت انجام آزمون‌های محیطی مانند گرمای خشک، گرمای ملایم، فشار هیدرواستاتیکی و ...، یک نمونه اتاقک آب و هوایی مورد نیاز است. شرکت ASLI، یکی از شرکت‌های فعال در زمینه تولید این نوع تجهیزات آزمون است. در شکل 14 یک نمونه از اتاقک‌های آب و هوایی ساخت شرکت ASLI ارائه شده است.



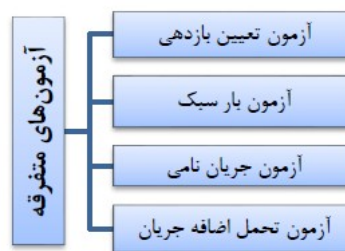
شکل 11: مولد حالت گذرای الکتریکی سریع ساخت شرکت Teseq مدل [NSG3060] 18



شکل 12: تفنگ مولد تخلیه الکتروستاتیکی ساخت شرکت Teseq مدل [NSG435] 19



شکل 13: تحلیل‌گر توان رومیزی ساخت شرکت Tektronix مدل [PA1000] 20



شکل 10: برخی آزمون‌های متفرقه استاندارد IEC61000-4-3، آزمون مصونیت تجهیزات در برابر اختلالات ناشی از میدان‌های مغناطیسی فرکانس رادیویی تابشی را تشریح می‌کند [12]. استاندارد IEC61000-4-4 روش‌های آزمون مصونیت تجهیز در برابر حالت‌های گذرای الکتریکی سریع را ارائه کرده است [13]. در استاندارد IEC61000-4-5، آزمون مصونیت در برابر جریان‌های فراتاخت مورد بررسی قرار گرفته است [14]. با معیارها و روش‌های بیان شده در استاندارد IEC61000-4-6 می‌توان مصونیت تجهیز در برابر اختلال‌های هدایتی ناشی از میدان‌های مغناطیسی فرکانس رادیویی را مورد ارزیابی قرار داد [15]. با کمک استاندارد IEC61000-4-7 می‌توان هارمونیک‌ها و اینترهارمونیک‌های تجهیزات را اندازه‌گیری کرد [16]. در استاندارد IEC61000-4-11، آزمون مصونیت تجهیز در برابر افت، تغییرات یا وقفه‌های ولتاژی را تشریح شده است [17].

استاندارد IEC61800-5-1 از جمله استانداردهای جامع در زمینه درایوهای سرعت متغیر است که کلیه الزامات ایمنی الکتریکی و حرارتی، آزمونهای مکانیکی مانند اندازه‌گیری فواصل ایمنی و خزشی و آزمون ضربه، آزمون‌های الکتریکی مانند آزمون تخلیه جزئی و جریان اتصال کوتاه، آزمون‌های مربوط به شرایط کار غیرعادی مانند قطع فاز یا خرابی خنک‌کننده، آزمون‌های مربوط به مواد مورد استفاده در تجهیز مانند آزمون اشتعال‌پذیری و آزمون‌های محیطی مانند آزمون گرمای خشک یا آزمون ارتعاش، همگی در این استاندارد تشریح شده‌اند [7].

در استاندارد IEC61800-9-1، با استفاده از روش محصول‌تعمیم‌یافته¹ و مدل‌نیمه تحلیلی² الگوریتمی برای اندازه‌گیری بازدهی انرژی سیستم‌های درایو سرعت‌متغیر ارائه کرده است. در استاندارد IEC61800-9-2، روش‌هایی برای تعیین تلفات مازول کامل درایو³، سیستم درایو قدرت⁴ و موتور ارائه شده است [9].

5. تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمون‌ها

در این بخش برخی از تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمون‌های مربوطه در بخش 3، معرفی شده است.

برای انجام آزمون‌های سازگاری الکترومغناطیسی، به تعدادی مولد برای ایجاد انواع

¹ Extended Product Approach (EPA)

² Semi Analytic Model (SAM)

³ Complete Drive Module

⁴ Power Drive System

based on flying capacitor multilevel inverter," 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Chiba, 2016, pp. 1-5.

- [3] ISO, ISO 17025 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. 2017.
- [4] <http://www.irica.gov.ir>
- [5] Lutz Lampe; Andrea M. Tonello; Theo G. Swart, "Electromagnetic Compatibility," in *Power Line Communications: Principles, Standards and Applications from Multimedia to Smart Grid*, Wiley, 2014, pp.178-222.
- [6] IEC, *Adjustable speed electrical power drive systems, in Part 3: EMC requirements and specific test methods*. 2012.
- [7] IEC, *Adjustable speed electrical power drive systems, in Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy*. 2016.
- [8] IEC, *Adjustable speed electrical power drive systems, in Part 9-1 : Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics and their driven applications – General requirements for setting energy efficiency standards for power driven equipment using the extended product approach (EPA) and semi analytic model (SAM)*. 2017.
- [9] IEC, *Adjustable speed electrical power drive systems, in Part 9-2: Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics and their driven applications – Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters*. 2017.
- [10] IEC, *Adjustable speed electrical power drive systems, in Part 4: General requirements – Rating specifications for a.c. power drive systems above 1000 V a.c. and not exceeding 35 kV*. 2002.
- [11] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*. 2008.
- [12] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*. 2010.
- [13] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*. 2012.
- [14] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*. 2014.
- [15] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*. 2013.
- [16] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*. 2009.
- [17] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC), in Part 4-11: Testing and measurement techniques Voltage*



شکل 14 : اتاقک آب و هوایی ساخت شرکت ASLI مدل]TH-80B]21

جهت انجام آزمون ارتعاش نیز به یک لرزاننده‌ی مناسب (با توجه به ابعاد دستگاه تحت آزمون) نیاز است. البته از آن جایی که این لرزاننده‌ها قیمت نسبتاً بالایی دارند، تعداد آزمایشگاه‌های مجهز به آن نسبتاً کم است و لذا بسیاری از آزمایشگاه‌ها، آزمون‌های ارتعاش را به آزمایشگاه‌های مرجع که دستگاه‌های لرزاننده را در اختیار دارند، منتقل نموده و تجهیز را در آنجا تحت آزمون قرار می‌دهند.

6. نتیجه‌گیری

با توجه به آمار منتشر شده از سازمان گمرک کشور، واردات درایو در سال 1397 نسبت به سال 1392، تقریباً سه برابر می‌باشد، به گونه‌ای که در سال 1397 بالغ بر 13 میلیون دلار جهت ورود درایوهای کنترل‌کننده دور موتور الکتریکی به کشور هزینه شده است. شرکت‌های تولیدکننده داخلی نیز سالانه تعداد قابل توجهی از این تجهیز را تولید می‌نمایند، لذا با توجه به محبوبیت، کاربرد روزافزون و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده به منظور استفاده از درایو همراه با موتورهای الکتریکی، تولید تجهیز مطابق با الزامات استانداردهای بین‌المللی، کمک شایانی در بالابردن کیفیت محصولات خواهد بود، به علاوه ورود درایوهای بیکیفیت به صنایع کشور و ناسازگاریهای الکترومغناطیسی، آلودگیهای هارمونیک و نقصهای عملکردی آنها میتواند خسارات بسیاری برای شبکه توزیع برق، صاحبان صنایع، کارکنان و محیط زیست به همراه داشته باشد، لذا شناخت استانداردها و آزمونهای این حوزه میتواند گام نخستی در جهت استانداردسازی درایوهای سرعت متغیر باشد. در این مقاله سعی شد در حد امکان استانداردها، آزمونها و تجهیزات لازم جهت تست درایوهای سرعت متغیر معرفی و تشریح گردد.

مراجع و منابع

- [1] G. Salunkhe and A. M. Sapkal, "Reduction of harmonics in induction motor drive using harmonic injection method," 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), Bangalore, 2016, pp. 1231-1234.
- [2] S. Mochidate, K. Matsuo, H. Obara and Y. Sato, "A study on total loss reduction in motor drive systems

dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. 2004.

- [18] <https://www.atecorp.com/products/teseq/nsg3060>
- [19] <https://www.atecorp.com/products/teseq/nsg-435>
- [20] <https://www.sjelectronics.co.uk/>
- [21] <https://image.made-in-china.com>