

## انواع دیگ های بخار – بخش اول

مهندس امین صدیقی

منبع: **Process steam systems, a practical guide for operators, maintainers and designers**

یکی از مهمترین تصمیماتی که در هر شبکه بخار فرآیندی گرفته می شود، انتخاب دیگ بخار است. ظرفیت بروندهی بخار بطور معمول با واحد کیلوگرم در ساعت (kg/hr) یا پوند بخار در ساعت (lb/hr) و ظرفیت حرارتی با واحد کیلوژول در ساعت (kJ/hr) یا اسب بخار (hp) بیان می شود. از آنجاییکه دیگ های بخار در ظرفیت ها، قابلیت ها و ساختار فیزیکی مختلفی به بازار عرضه می شوند، انتخاب یک دستگاه مناسب برای کاربرد مورد نظر بسیار پراهمیت است. هدف از این مجموعه مقالات، معرفی انواع اصلی دیگ های بخار و کمک به شما در انتخاب نوع صحیح دستگاه خواهد بود.

دیگ های بخار، بر اساس فشار طراحی و فشار عملیاتی تعریف می شوند. فشار طراحی که حداکثر فشار مجاز کاری (MAWP) نیز نامیده می شود، به منظور محاسبه حداقل ضخامت مجاز ورق و دیگر مشخصات فیزیکی مخزن تحت فشار دیگ به کار می رود. به همین روی، شیرهای اطمینان باید در MAWP یا پایینتر از آن تنظیم گردند. از طرفی، فشار عملیاتی فشاری است که دیگ در آن به صورت عادی کار می کند. فشار عملیاتی معمولاً در سطح مناسب (حداقل ۱۰٪) زیر فشار آزادسازی شیر اطمینان نگه داشته می شود تا از باز شدن مکرر شیر مذکور حین کارکرد عادی، جلوگیری شود. محدوده فشار عملیاتی دیگ به کمک تنظیم سنسور فشار تعیین می گردد.

### دیگ بخار مطلوب

دیگ های بخار هم دارای مشخصات مطلوب و هم ویژگی های نه چندان مطلوب هستند. در واقع، تا به امروز هیچ دیگ ایده آلی ساخته نشده است. در زیر، فهرستی از قابلیت های مطلوب و دلایل آن آورده شده است. مناسب ترین نوع دیگ را می توان با توجه به این خصوصیات انتخاب نمود:

۱. **ابعاد کم:** ساخت ابنیه و فضای موتورخانه پر هزینه است. بنابراین با توجه به این فضای محدود هر چه دیگ فضای

کمتری اشغال کند بهتر است.

۲. **حجم آبیگری بالا:** دیگی با حجم آبیگری بالا، سطح انرژی ذخیره شده بالایی خواهد داشت و قادر خواهد بود بصورت موثرتری پاسخگوی تقاضای ناگهانی بخار باشد.

۳. **فضای بزرگ بخار:** هر چه این ناحیه بزرگ تر باشد، شانس کشش آب به همراه بخار به درون خط بخار کمتر است و در نتیجه کیفیت بخار بالاتر می رود.

۴. **راه اندازی سریع:** دیگ این قابلیت را داشته باشد که در هر زمان سریعاً شروع به کار نماید.

۵. **جرم بالا:** یک طراحی با دوام که نسبت به استفاده نادرست بهره بردار، بطور مثال در فرآوری نامناسب آب، مقاوم بوده و موجب بازگشت سریع تر سرمایه می شود.

۶. **عملکرد مناسب در طیف وسیعی از فشارهای عملیاتی:** فشار بخار در کاربردهای فرآیندی می تواند از ۲۰ psig (۱/۴ بار) تا بیش از ۴۰۰ psig (۲۷/۶ بار) باشد.

۷. **دسترسی آسان به اجزای داخلی:** نیروهای تعمیرات و نگهداری به این خصیصه علاقه زیادی دارند زیرا تعویض قطعات در زمان بروز مشکل بسیار سریع و آسان خواهد بود.

۸. **شار حرارتی کم در قسمت آب و مساحت سطح بالا در سمت کوره:** شار حرارتی پایین، امکان پوسته کردن را در سمت آب کاهش می دهد و مساحت سطح بالا به بالا بردن بازده انتقال حرارت کمک می کند.

۹. **گستره بالای کارکرد مشعل:** این مشخصه، دفعات روشن و خاموش شدن دیگ را کاهش داده و طول عمر دیگ را بالا می برد و به دیگ این امکان را می دهد که در شرایط کم باری روشن بماند.

۱۰. **توانایی اتصال به BMS:** این امکان را می دهد که نظارت از راه دور انجام شده و نیاز کمتری به حضور مستقیم نیروی بهره بردار در فضای موتورخانه باشد.

برخی از این خصوصیات با یکدیگر متناقض هستند زیرا همانطور که پیشتر گفته شد هیچ دیگ بخار وجود ندارد که از تمام این خصایص بهره مند باشد. لذا، در انتخاب دیگ می بایست مهمترین ویژگی ها بر اساس کاربرد مورد نظر تعیین شده و دیگی انتخاب شود که بهترین مطابقت را داشته باشد. برای مثال، اگر فضای موتورخانه کوچک است، ابعاد دیگ به یک ویژگی مهم تبدیل می شود. به همین ترتیب، اگر نیاز به تامین بخار با فشار ۶۰۰ psig است، آنگاه فقط می توان از انواع خاصی از دیگ استفاده کرد. مسائل و مشکلات مرتبط با نصب دیگ نیز می تواند در نتیجه عدم توجه به مشخصات طراحی دیگ و نحوه تأثیر آنها بر عملکرد کلی سیستم بخار باشد. دیگهای کم فشار به فضای بخار بیشتری نیاز دارند تا بخار کیفیت خوبی داشته باشد. خوشبختانه می توان بسیاری از اشتباهات در نصب دیگ ها را به کمک تغییر در طراحی شبکه توزیع بخار تصحیح نمود. جدول ۱، رتبه بندی انواع مختلف دیگ را با ده قابلیت مطلوب نشان می دهد.

	فایر تیوب افقی	فایر تیوب مکعبی	واتر تیوب	کویل دار	چدنی	عمودی بدون لوله	زیست توده ای	مقاومت الکتریکی	الکترودی	بدون احتراق
ابعاد	P	M	M	M	G	G	P	G	G	M
حجم آگیری	G	M	P	P	P	P	G	M	M	G
فضای بخار	G	M	M	M	P	P	G	M	G	G
سرعت راه اندازی	P	G	G	G	G	G	P	P	G	M
جرم	G	M	G	P	M	M	G	M	G	G
نحوه عملکرد در فشارهای مختلف	M	P	G	P	P	M	G	G	G	G
دسترسی به اجزاء داخلی	M	G	P	G	G	M	M	G	P	P
شار حرارتی و مساحت سطح	G	M	G	G	M	P	M	P	P	G
گستره عملکرد مشعل	P	P	M	M	M	M	P	G	P	G
قابلیت اتصال به BMS	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G

G: خوب, M: متوسط, P: ضعیف

### جدول ۱- مقایسه دیگ های بخار

## انواع دیگ های بخار

اساساً، دیگ های بخار در یکی از این چهار دسته قرار می گیرند: دیگ های بخار با سوخت مایع-گاز، دیگ های بخار با سوخت جامد، دیگ های بخار برقی و دیگ های بخار بدون احتراق. در ادامه به بررسی کلی انواع مختلف دیگ در هر دسته پرداخته می شود.

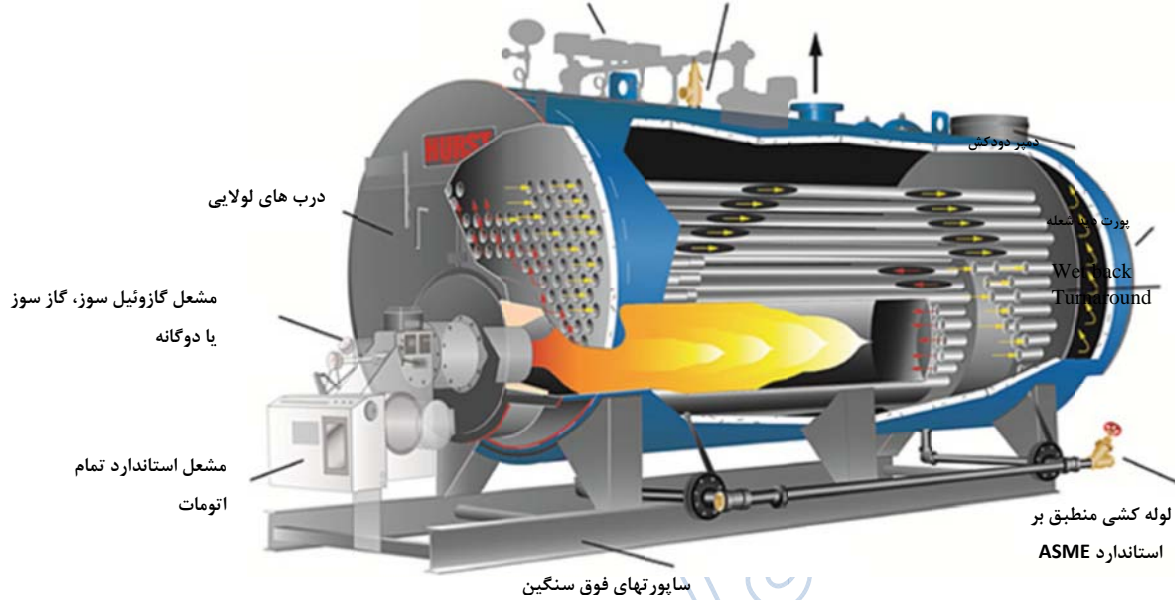
### دیگ های بخار با سوخت مایع-گاز

دیگ های فایر تیوب افقی: از این دیگ ها در ۴۰ سال گذشته استقبال خوبی صورت گرفته است. دیگهای فایر تیوب برای فشار بخار تا ۳۰۰ psig (۲۰ بار) مورد استفاده قرار می گیرند و معمولاً برای کاربردهای ۶۰ تا ۸۰۰ اسب بخار به کار می روند. البته گاهی این مقدار تا ۲۰۰۰ اسب بخار هم بالا می رود. این نوع از دیگ ها یک مخزن استوانه ای هستند که شعله در کوره و گازهای حاصل از احتراق در داخل لوله ها در جریان است. آب و بخار در بیرون فضاها یاد شده و در داخل مخزن استوانه ای قرار دارند. نمای برش خورده ای از دیگ های فایر تیوب در شکل ۱ نمایش داده شده است.

ساختمان دیگ فایر تیوب افقی مشخصاتی دارد که آن را از سایر دیگ ها متمایز می سازد. دیگ فایر تیوب به خاطر اندازه مخزن خود، مقدار زیادی آب را در خود جای می دهد و همین موضوع باعث می شود که با کمترین تغییر در فشار بخار به تغییر بار واکنش نشان دهد. همانطور که پیشتر گفته شد، فشار بخار در این نوع از دیگ ها معمولاً به حدود ۳۰۰ psig محدود می شود. برای رسیدن به فشارهای بالاتر، باید از ورق های ضخیم تری جهت پوسته و لوله ها استفاده کرد که چندان توجیه اقتصادی ندارد. از طرفی، کمترین ظرفیت این دیگ در حدود ۶۰ اسب بخار (۲۰۰۰ lb/h) (۹۰۰ kg/hr) است. این

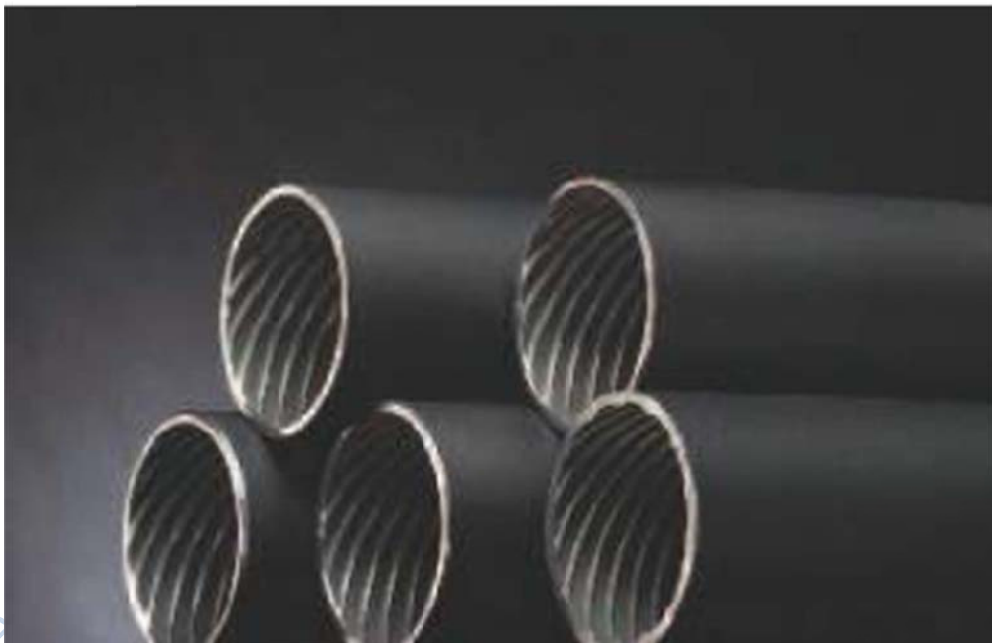
دیگ، گزینه مناسبی جهت کاربردهای تهویه مطبوع و فرآیندی فشار پایین تا متوسط محسوب می شود، اگرچه به علت افقی بودن و نیز فضای لازم جهت تعویض لوله های آتشخوار نیازمند فضای نسبتاً بزرگی در موتورخانه خواهد بود.

قسمتهای کم رنگ مربوط به تجهیزات کنترلی است.



شکل ۱- دیگ های فایرتیوب افقی

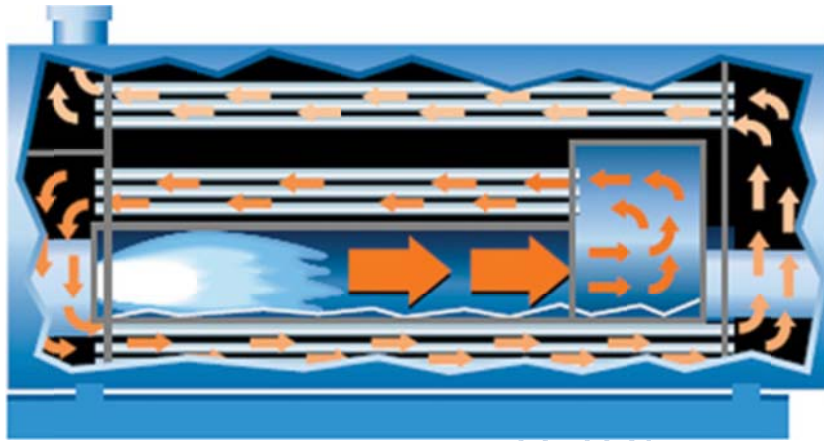
دیگهای فایرتیوب مشابه مبدل های حرارتی پوسته و لوله ای هستند. انتقال حرارت از ناحیه کوره و مجموعه لوله های آتشخوار به آب انجام می شود. احتراق در بخش جلویی کوره اتفاق افتاده و گازهای حاصل از احتراق با عبور از لوله ها از طریق دودکش تخلیه می شوند. بالابردن تعداد لوله، باعث گرم تر شدن سطح به ازای هر اسب بخار از دیگ شده و نرخ انتقال حرارت و راندمان دستگاه را به شدت بالا می برد. دیگ های افقی در طراحی های دو، سه و یا چهار پاسه در دسترس هستند. منظور از پاس، ناحیه ای است که در آن گازهای احتراق، طول دیگ را طی می کنند. به طور کلی، راندمان دیگ با تعداد پاس ها بالا می رود، هرچند که در نهایت مساحت سطح کلی و نیز میزان آشفستگی گازها احتراق، بازده انتقال حرارت را مشخص می کنند. بدین روی، در ساخت این دیگ ها معمولاً از لوله های آتشخوار آجدار استفاده می شود تا با ایجاد تلاطم در گازهای حاصل از احتراق بازده انتقال حرارت را افزایش دهند. نمونه ای از این لوله ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



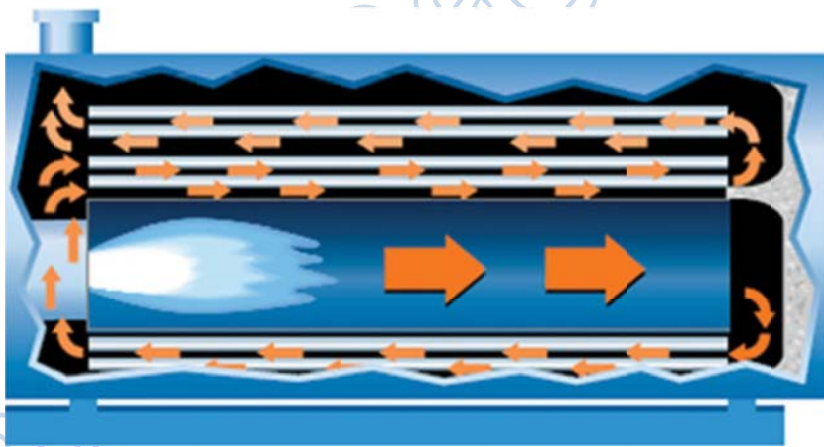
شکل ۲- لوله های آتشخوار آجدار

دیگ های فایرتیوب افقی، در طراحی های dryback و wetback در دسترس هستند. در طراحی dryback، یک محفظه با پوشش نسوز در خارج مخزن نصب می شود که از آن برای هدایت گازهای احتراق از یک پاس به پاس دیگر استفاده می شود. دسترسی آسان به تمام نواحی داخلی دیگ از جمله لوله ها، مشعل، کوره و ماده نسوز از انتهای دیگ امکان پذیر است و این موضوع، عملیات تعمیر و نگهداری را آسان تر می کند و هزینه های مرتبط با تمیزکاری دیگ را کاهش می دهد.

در طراحی wetback از یک محفظه متصل به آب درون دیگ جهت هدایت گازها از پاسی به پاس دیگر استفاده می شود. این طراحی به حفاظت و نگهداری کمتری برای ماده نسوز نیاز دارد، اگرچه فرآیند تعمیر و نگهداری اجزای داخلی سخت تر و پرهزینه تر است. از طرفی، انرژی تابشی کمتری در نوع wetback از دست رفته و به طور کلی راندمان آن را کمی بالاتر از نوع dryback قرار می دهد (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- طرح Wetback



شکل ۴- طرح Dryback

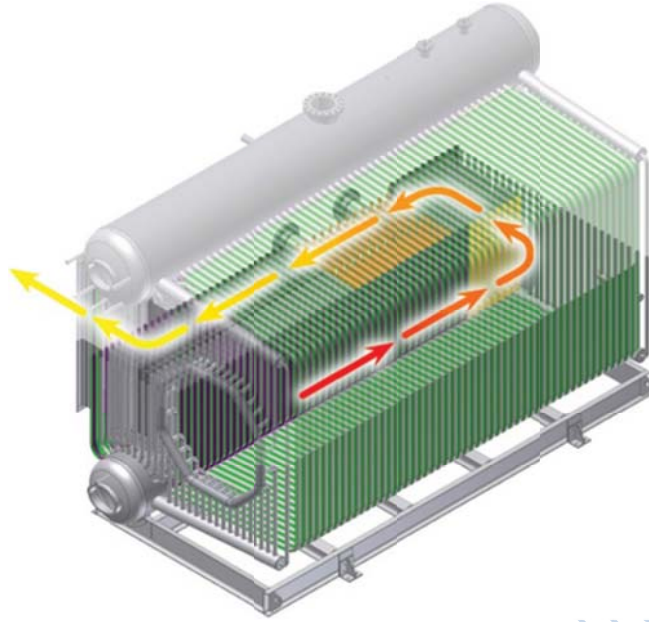
دیگ های فایرتیوب مکعبی: چیدمان لوله های آتشخوار دیگ های مکعبی همانند نمونه پیشین است. محفظه احتراق آن، بر خلاف کوره استوانه ای فایرتیوب، یک ناحیه بزرگ جعبه ای شکل است. فضای جداسازی بخار در این دیگ ها بزرگ بوده و بطور معمول از آنها برای تولید بخار فشارپایین استفاده می شود. دیگ مکعبی یک دستگاه جمع و جور، با هزینه تامین پایین و مناسب جهت استفاده در بین فصول که راندمان دستگاه از اهمیت چندانی برخوردار نیست می باشد. ظرفیت این تجهیزات

محدود به ۶۰۰ اسب بخار است. کاربرد دیگ های مکعبی در ایالات متحده، عمدتاً به دلیل کارایی پایین آنها و نیز تمایل به تغییر سیستم های بخار فشار پایین به سیستم های آب داغ، در حال کم شدن است.

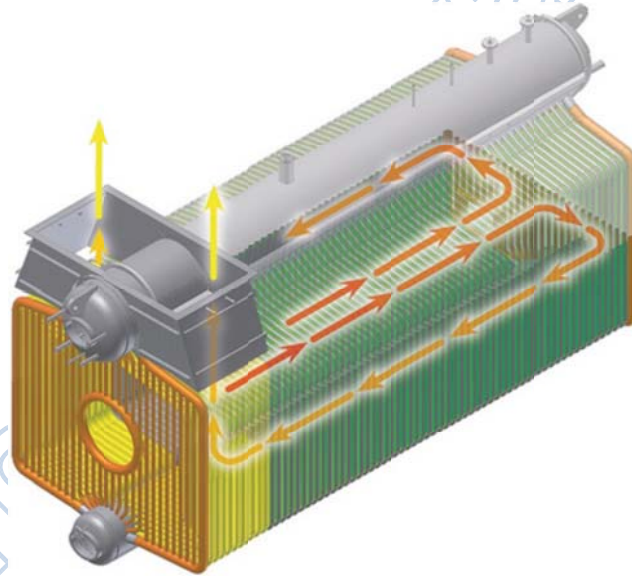
**دیگ های واتر تیوب:** این دیگ ها معمولاً بخار مورد نیاز برای استفاده فرآیندهای صنعتی را تولید می کنند. طراحی لوله ها به گونه ای است که بخار و/یا آب از درون لوله ها و محصولات احتراق از خارج آنها عبور می کنند. معمولاً، در این دیگ ها از چند محفظه (drum) استفاده می شود. محفظه بخار (محفظه فوقانی) و محفظه گل و لای یا آب ورودی (محفظه تحتانی) با این لوله ها به هم متصل می شوند و در مجموع بخش همرفتی و ناحیه کوره را تشکیل می دهند.

دیگ های واتر تیوب صنعتی معمولاً بر اساس ظرفیت برون دهی بخار به واحد پوند در ساعت یا کیلوگرم در ساعت رده بندی شده و از  $10,000 \text{ lb/hr}$  ( $4500 \text{ kg/hr}$ ) تا بیش از  $100,000 \text{ lb/hr}$  ( $45,000 \text{ kg/hr}$ ) موجود می باشند. این تجهیزات به دلیل قابلیت بخاردهی سریع مورد توجه هستند زیرا بخار به دلیل حجم ذخیره کم آب نسبتاً سریع تولید می شود. این در حالی است که محتوای کم آب موجب پیچیدگی بیشتر فرآیند فرآوری آب ورودی و سرعت پایینتر بخاردهی در مقایسه با دیگ های بخار فایر تیوب می شود. به کمک این دیگ ها می توان بخار اشباع یا مافوق داغ را تولید نمود. در صورت نیاز به بخار مافوق داغ در فشارهای بالا (بالتر از  $300 \text{ psig}$ ) تنها گزینه استفاده از دیگ واتر تیوب است. دیگ های واتر تیوب در مقایسه با دیگ های کویل دار فضای کمتری اشغال می کنند، اما ممکن است در ظرفیت های بالا نیاز باشد ارتفاعی در حدود ۲۰ فوت (۶ متر) برای سقف در نظر گرفته شود. تعمیر لوله های آب شامل باز کردن عایق بیرونی و تعمیر یا کور کردن لوله های دارای نشتی است طراحی محفظه گل و لای نیز به گونه ای است که با زیرآبزی منظم نیازی به تعمیر نداشته باشد (شکل های ۵ و ۶).

در مقالات بعد، به شرح انواع دیگر دیگ های بخار پرداخته خواهد شد.



شکل ۵- دیگ طرح واتر تیوب D شکل



شکل ۶- دیگ طرح واتر تیوب O شکل

علاقمندان می توانند جهت دریافت اطلاعات بیشتر و یا هماهنگی جهت بازدید از مجموعه با شرکت سامان پایا ایده به شماره تلفن ۰۲۱-۲۶۲۱۸۵۲۳-۴ و یا پست الکترونیک [info@spi-ir.com](mailto:info@spi-ir.com) تماس حاصل فرمایند.