شرکت فناوری های پیشرفته ایران

خبـــرنامه گداخت هسته ای

شماره ۴

معاونت گداخت هسته ای

دفتر توسعه ارتباطات و همکاری‌های فناوری گداخت هسته ای

چکیـــده

با پیشرفت در زمینه ابر رساناهای دمای بالا (HTS)، سیستم‌های آهنربایی قادرند جریان‌های الکتریکی چشمگیری را حمل کنند که یکی از الزامات اصلی راکتورهای گداخت است.

در این صورت می‌توان میدان‌های مغناطیسی بسیار بالاتری را نسبت به آهنرباهای ابررسانای معمولی ایجاد کرد که چگالی و فشار پلاسما را افزایش می‌دهند.

این در حالی است که ابر رساناهای دمای بالا فضای بسیار کمتری را اشغال می‌کنند، در نتیجه با استفاده از آن‌ها می‌توان یک راکتور گداخت را بسیار فشرده‌تر ساخت.

دمای کاری این ابر رساناها نیز ۵ برابر کارآمدتر شده است، بنابراین به خنک کنندگی بسیار کمتری نیاز است.

این ویژگی‌ها منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌های ساخت و افزایش عملکرد توکامک می‌شود.

سیستم آهنربایی Demo4 در شرکت توکامک انرژی (Tokamak Energy) می‌تواند ۱۲ میلیون آمپر جریان برق داشته باشد!

Tokamak Energy به تازگی از طرح دقیق Demo4 رونمایی کرده است که در آن سیستم آهنربایی می‌تواند ۱۲ میلیون آمپر جریان الکتریکی را برای دستیابی به میدان‌های مغناطیسی قوی که در یک راکتور گداخت نیاز است، حمل کند.

انرژی گداخت، انرژی پاک و پایدار است. در طی یک واکنش گداخت یعنی زمانی که دو اتم سبک تر با هم برخورد می‌کنند و اتم های سنگین‌تری را تشکیل می‌دهند، مقدار قابل توجهی انرژی آزاد می‌گردد. لذا لازم است انرژی تولیدی مهار گردد و برای تولید برق استفاده شود.

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌ها و تحقیقات متعددی در زمینه انرژی گداخت صورت گرفته است اما **Tokamak Energy تنها دو ماه پس از اعلام پیشرفت قبلی خود، یک دستاورد جدید را اعلام کرده است.**

در سمپوزیوم مهندسی گداخت (SOFE)، شرکت توکامک انرژی از توسعه یک سیستم آهنربایی ابررسانا به نام Demo4 خبر داده است.

این سیستم مغناطیسی دارای **۱۲ میلیون آمپر جریان الکتریکی** خواهد بود که از ستون مرکزی آن عبور می‌کند، این جریان باور کردنی نیست و چهار برابر بیشتر از جریان عبوری از توکامک ST40 این شرکت است.

برای درک بهتر، این میزان جریان ۱۲۰۰۰۰ برابر بیشتر از مصرف برق معمولی ۱۰۰ آمپری یک خانه متوسط در بریتانیا است.

یکی از الزامات اصلی راکتورهای گداخت میدان های مغناطیسی قوی است که بتواند پلاسمای داغ را در راکتور کنترل و محصور کند. برای ایجاد چنین میدان های مغناطیسی بزرگی باید مقدار زیادی جریان از آهنرباها عبور داده شود.

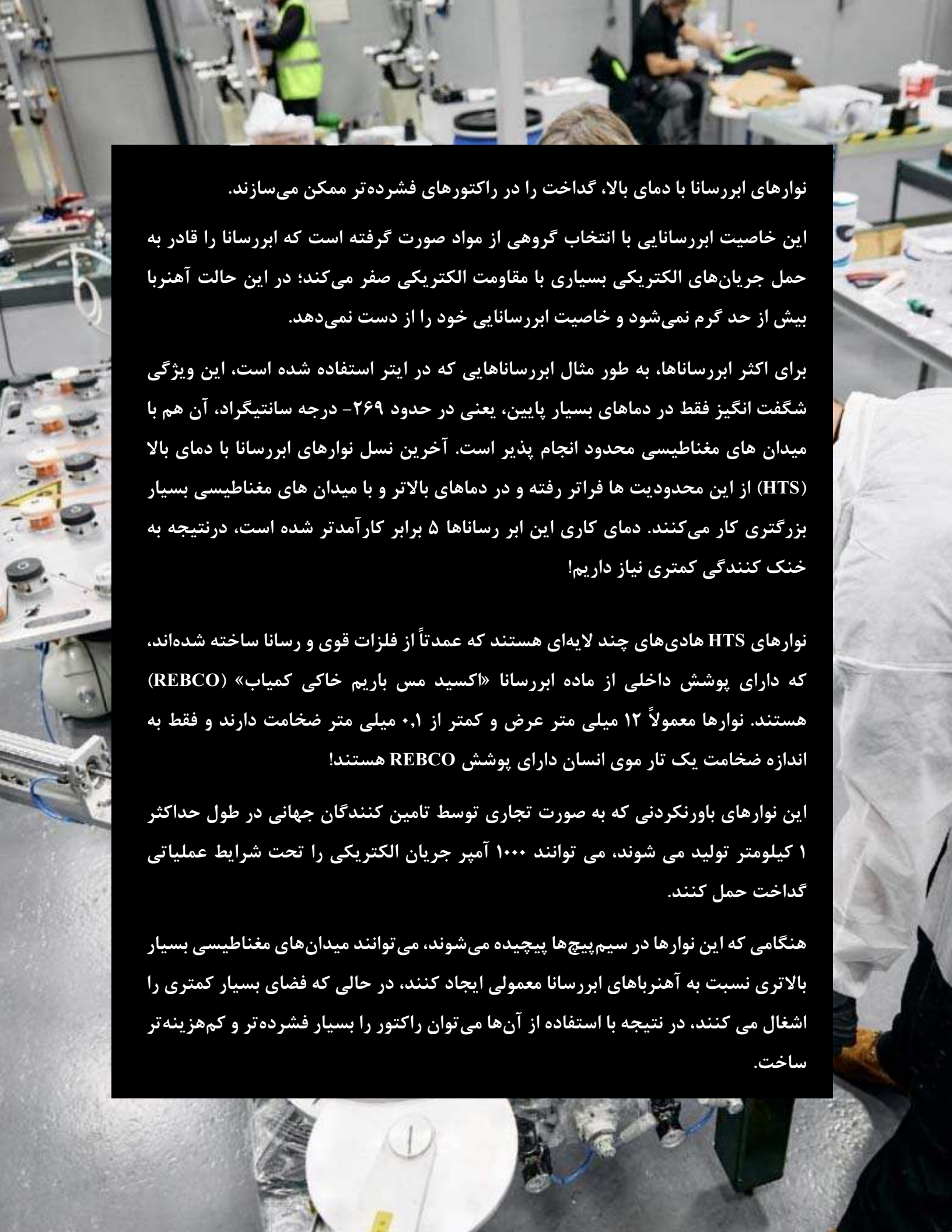
مقاومت ابررساناها در برابر الکتریسیته صفر است و آنها را به گزینه ایده آلی برای ایجاد میدان‌های مغناطیسی قوی تبدیل می‌کند. با این حال، ابررساناها به دمای بسیار پایینی، یعنی نزدیک به صفر مطلق (۲۷۳,۱۵- درجه سانتیگراد یا ۴۵۹,۶۷- درجه فارنهایت) نیاز دارند. **راه حل این است که در ابررساناها از مواد خاصی استفاده شود که در دماهای نسبتاً بالاتری** (۱۹۶- درجه سانتیگراد یا ۳۲۰,۸- درجه فارنهایت) **نیز بوانند خاصیت ابررسانایی خود را حفظ کنند.**

آهنرباهای HTS

میدان های مغناطیسی در توکامک برای محصورسازی و کنترل پلاسمای دارای بار الکتریکی استفاده می شود، این میدان به پلاسما اجازه می دهد تا دمای بالای ۱۰۰ میلیون درجه سانتیگراد گرم شود و این آستانه‌ای برای گداخت به عنوان یک منبع انرژی قابل دوام و تجاری است. آهنرباهای قوی در توکامک‌های کروی، محصورسازی فشرده‌تری را امکان‌پذیر می‌سازد که در نتیجه چگالی و فشار پلاسما را افزایش می‌دهد. این آهنرباهای ابر رسانای دمای بالا از پیچیدن چند دور نوارهای خاص به دست می‌آیند.

نوارهای ابررسانای دمای بالا

«انقلابی در صنعت»



نوارهای ابررسانا با دمای بالا، گداخت را در راکتورهای فشرده‌تر ممکن می‌سازند.

این خاصیت ابررسانایی با انتخاب گروهی از مواد صورت گرفته است که ابررسانا را قادر به حمل جریان‌های الکتریکی بسیاری با مقاومت الکتریکی صفر می‌کند؛ در این حالت آهنربا بیش از حد گرم نمی‌شود و خاصیت ابررسانایی خود را از دست نمی‌دهد.

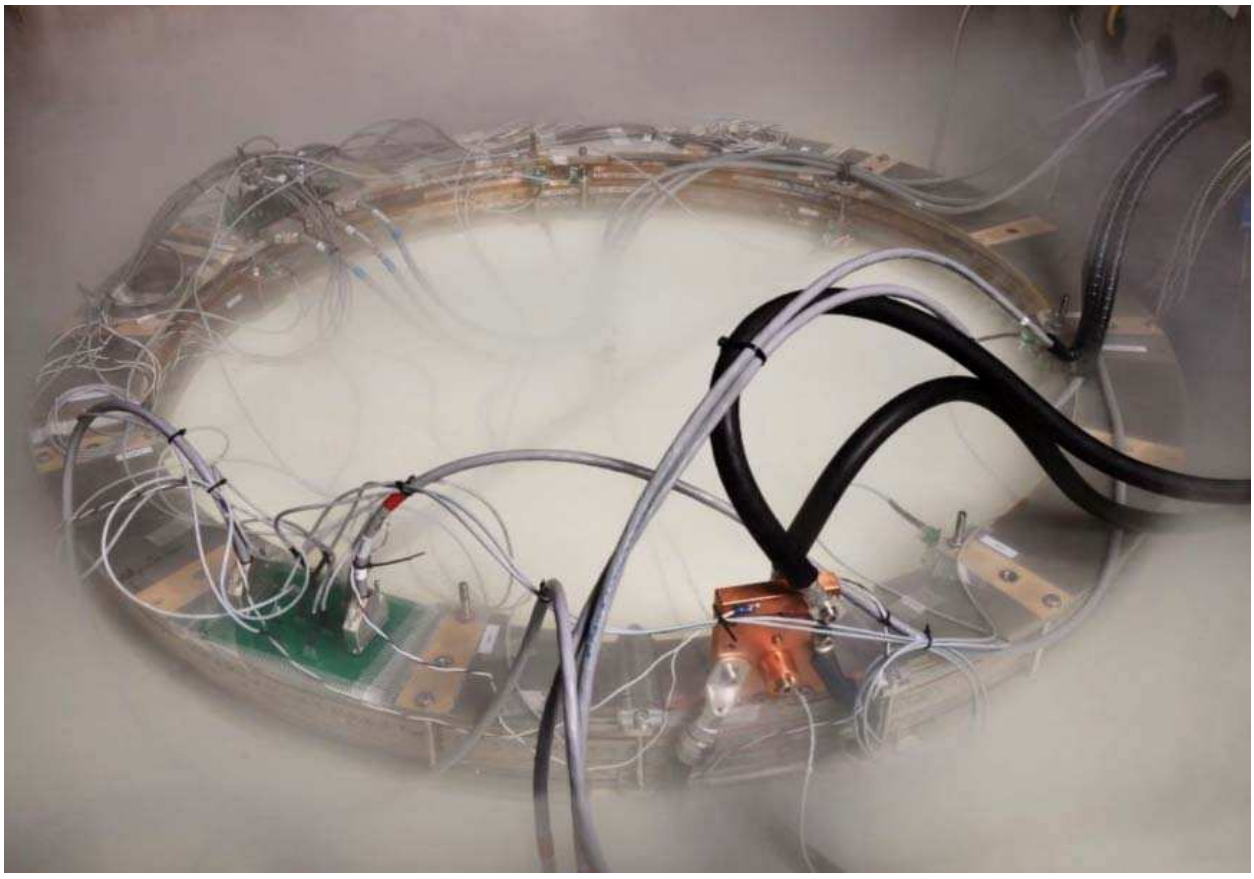
برای اکثر ابررساناها، به طور مثال ابررساناهایی که در ایتر استفاده شده است، این ویژگی شگفت انگیز فقط در دماهای بسیار پایین، یعنی در حدود ۲۶۹- درجه سانتیگراد، آن هم با میدان های مغناطیسی محدود انجام پذیر است. آخرین نسل نوارهای ابررسانا با دمای بالا (HTS) از این محدودیت ها فراتر رفته و در دماهای بالاتر و با میدان های مغناطیسی بسیار بزرگتری کار می‌کنند. دمای کاری این ابر رساناها ۵ برابر کارآمدتر شده است، درنتیجه به خنک کنندگی کمتری نیاز داریم!

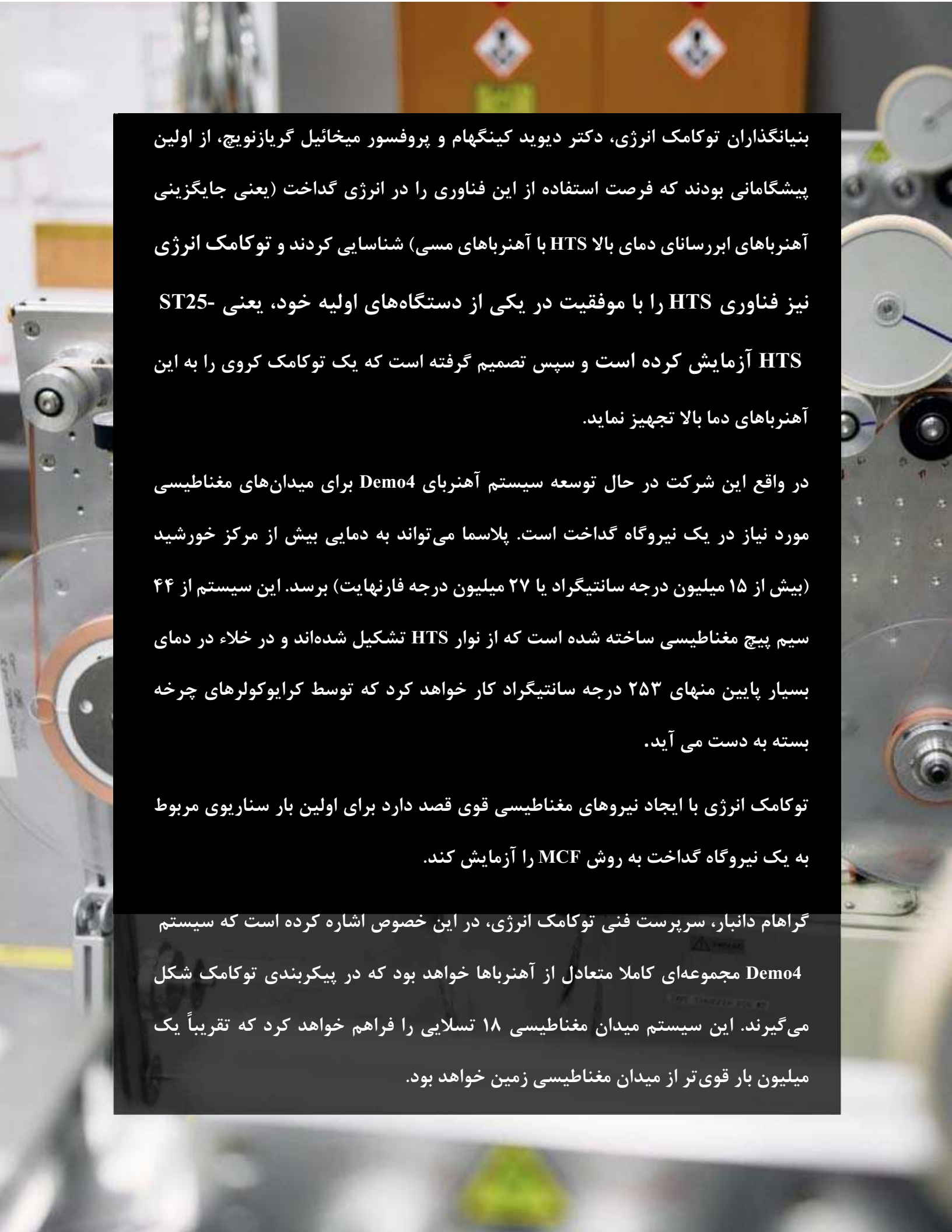
نوارهای HTS هادی‌های چند لایه‌ای هستند که عمدتاً از فلزات قوی و رسانا ساخته شده‌اند، که دارای پوشش داخلی از ماده ابررسانا «اکسید مس باریم خاکی کمیاب» (REBCO) هستند. نوارها معمولاً ۱۲ میلی متر عرض و کمتر از ۰,۱ میلی متر ضخامت دارند و فقط به اندازه ضخامت یک تار موی انسان دارای پوشش REBCO هستند!

این نوارهای باورنکردنی که به صورت تجاری توسط تامین کنندگان جهانی در طول حداکثر ۱ کیلومتر تولید می شوند، می توانند ۱۰۰۰ آمپر جریان الکتریکی را تحت شرایط عملیاتی گداخت حمل کنند.

هنگامی که این نوارها در سیم‌پیچ‌ها پیچیده می‌شوند، می‌توانند میدان‌های مغناطیسی بسیار بالاتری نسبت به آهنرباهای ابررسانا معمولی ایجاد کنند، در حالی که فضای بسیار کمتری را اشغال می کنند، در نتیجه با استفاده از آن‌ها می‌توان راکتور را بسیار فشرده‌تر و کم‌هزینه‌تر ساخت.

مقاومت ابررساناها در برابر الکتریسیته صفر است و به دمای بسیار پایینی نیز، یعنی نزدیک به صفر مطلق (۲۷۳,۱۵- درجه سانتیگراد) نیاز دارند. **راه حل این است که در ابررساناها از مواد خاصی استفاده شود که در دماهای نسبتاً بالاتری (۱۹۶- درجه سانتیگراد) بتوانند خاصیت ابررسانایی خود را حفظ کنند.** شرکت توکامک انرژی نیز یکی از پیشگامان در ایجاد آهنرباهای HTS است. دکتر راد بیتمن که تیم توسعه آهنرباهای HTS را در توکامک انرژی مدیریت می‌کند، در مورد توسعه این آهنرباها گفته است: **"برای فعال کردن یک توکامک کروی فشرده پیشرفت و توسعه‌ی مواد HTS نیاز است که توکامک بتواند در میدان‌های مغناطیسی بالا کار کند."**





بنیانگذاران توکامک انرژی، دکتر دیوید کینگهام و پروفسور میخائیل گریازنویچ، از اولین پیشگامانی بودند که فرصت استفاده از این فناوری را در انرژی گداخت (یعنی جایگزینی آهنرباهای ابررسانای دمای بالا HTS با آهنرباهای مسی) شناسایی کردند و توکامک انرژی نیز فناوری HTS را با موفقیت در یکی از دستگاه‌های اولیه خود، یعنی ST25- HTS آزمایش کرده است و سپس تصمیم گرفته است که یک توکامک کروی را به این آهنرباهای دما بالا تجهیز نماید.

در واقع این شرکت در حال توسعه سیستم آهنربای Demo4 برای میدان‌های مغناطیسی مورد نیاز در یک نیروگاه گداخت است. پلاسما می‌تواند به دمایی بیش از مرکز خورشید (بیش از ۱۵ میلیون درجه سانتیگراد یا ۲۷ میلیون درجه فارنهایت) برسد. این سیستم از ۴۴ سیم پیچ مغناطیسی ساخته شده است که از نوار HTS تشکیل شده‌اند و در خلاء در دمای بسیار پایین منهای ۲۵۳ درجه سانتیگراد کار خواهد کرد که توسط کرایوکولرهای چرخه بسته به دست می آید.

توکامک انرژی با ایجاد نیروهای مغناطیسی قوی قصد دارد برای اولین بار سناریوی مربوط به یک نیروگاه گداخت به روش MCF را آزمایش کند.

گراهام دانبار، سرپرست فنی توکامک انرژی، در این خصوص اشاره کرده است که سیستم Demo4 مجموعه‌ای کاملا متعادل از آهنرباها خواهد بود که در پیکربندی توکامک شکل می‌گیرند. این سیستم میدان مغناطیسی ۱۸ تسلایی را فراهم خواهد کرد که تقریباً یک میلیون بار قوی‌تر از میدان مغناطیسی زمین خواهد بود.

همانطور که گفته شد، یکی از چالش های اصلی آهنرباها، سیستم خنک کننده برودتی است تامین نیروی الکتریکی آهنرباها بار قابل توجهی را بر روی سیستم برودتی تحمیل می‌کند؛ توکامک انرژی با موفقیت یک مبدل توان جدید را در داخل یک کرایواستات خلاء ایجاد کرده است که کاهش ۵۰ درصدی حرارت را در تغذیه آهن‌رباها نشان می‌دهد. بهبود راندمان خنک‌کننده، هزینه‌های نیروگاه‌های گداخت آینده را به شکل چشم گیری کاهش می‌دهد و این کلید تجاری‌سازی و مقیاس‌پذیری این فناوری است.

برای اولین بار این ابررساناها در سناریوهای مربوط به نیروگاه گداخت در میلتون پارک توکامک انرژی در بریتانیا در سال ۲۰۲۴ مونتاژ و تکمیل خواهد شد که یکی از الزامات برآورد فناوری مورد نیاز برای ارائه این انرژی تمیز، ایمن و مقرون به صرفه در دهه ۲۰۳۰ است.