



شرکت فناوری های پیشرفته ایران

شماره ۲

خبرنامه گداخت هسته ای

معاونت گداخت هسته ای

دفتر توسعه ارتباطات و همکاری های فناوری گداخت هسته ای

چکیده:

سایت Tech Crunch که از جمله سایت‌های معتبر تولید و انتشار محتوا عمدتاً در غالب خبرنگار و مصاحبه با افراد سرشناس علمی، سیاسی، اقتصادی، نظامی و خصوصاً سرمایه‌گذاران و کارآفرینان است در رابطه با موضوع گداخت هسته‌ای با تعدادی از مدیران عامل و یا موسسان شرکت‌های خصوصی سرمایه‌گذار در حوزه انرژی و گداخت هسته‌ای به طور جداگانه مصاحبه انجام داده است. مصاحبه‌ها حاوی نکات جدید و جالبی است که عمدتاً با در نظر داشتن نگاه اقتصادی، تجاری و محصول محور ارائه شده‌اند. متن مصاحبه‌های انجام پذیرفته به پیوست ارائه شده است.

جمع بندی نظرات ارائه گردیده عمدتاً حاوی نکات ذیل می‌باشند:

۱- اتفاق نظر بر کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در حوزه گداخت هسته‌ای به دلایلی از جمله پیشرفت‌های اخیر صورت پذیرفته در حوزه گداخت هسته‌ای و صنایع مرتبط

۲- نگاه چند جانبه و خصوصاً دید تجاری و محصول محور به گداخت هسته‌ای علاوه بر هدف غایی تولید انرژی تجاری


۳- نوآوری در طیف وسیعی از روش‌های گداخت هسته‌ای

۴- اعتماد و باور قوی تر به دستیابی به انرژی حاصل از گداخت هسته‌ای به عنوان منبع آینده تامین انرژی خصوصاً با توجه به پشت سر گذاشتن و عبور از نقطه عطف سر به سری علمی و مهندسی مصرف و تولید انرژی

۵- تاکید بر لزوم هماهنگی بیشتر بین مراکز علمی، سیاست‌گذاری و تصمیم‌سازی با شرکت‌های سرمایه‌گذار خصوصی

۶- تشویق سایر سرمایه‌گذاران به سرمایه‌گذاری در حوزه گداخت هسته‌ای با تمرکز بر تجاری سازی محصولات

۷- بیان تاثیرات مثبت زیست محیطی انرژی حاصل از گداخت هسته‌ای در کاهش سطح کربن



با ۱۰ تریلیون دلار سرمایه‌گذاری جاری در حوزه‌ی انرژی، سرمایه‌گذاران توضیح می‌دهند که چرا مایلند در حوزه‌ی گداخت وارد عمل شوند؟

۷۰ سال است که فرآیند دستیابی به گداخت هسته‌ای در جریان است اما عمدتاً در ۵ سال اخیر شاهد پیشرفت‌های چشم‌گیری در این صنعت بوده‌ایم. علت چیست؟ در این ۷۰ سال، هزینه‌های بسیاری بر روی گداخت هسته‌ای شده است، و در مقابل نتایج چشم‌گیری را به همراه نداشته است؛ با این وجود، چرا اخیراً سرمایه‌گذاران همگی وارد عمل شده‌اند؟

TechCrunch در مصاحبه‌ی خود به این سوال‌ها پاسخ داده است. این مصاحبه که با سرمایه‌گذاران و موسسین شرکت‌های خصوصی گداخت هسته‌ای بوده است نقطه نظرهای زیر را به همراه داشته است:

- اگرچه هدف اصلی سرمایه‌گذاران، دستیابی به گداخت هسته‌ای بوده است اما در کنار آن شاهد پیشرفت‌های چشمگیری در کاربردهای دیگر از جمله: ابرساناهای دمای بالا، لیزرهای پرتوان، و منابع نوترونی بوده‌ایم.
- همچنین، گداخت رشد بزرگی را در قدرت محاسباتی و یادگیری ماشین به همراه داشته است که یک باره حاصل نمی‌شوند و می‌توان آن‌ها را از دستاوردهای مهم گداخت دانست.

این پیشرفت‌ها نه تنها در کوتاه مدت می‌تواند هزینه‌ی صرف شده‌ی سرمایه‌گذاران را به نقطه سربه‌سری و یا حتی سوددهی برساند. بلکه فناوری‌های حاصل، دستیابی به گداخت را نیز سرعت بخشیده‌اند. زیرا به طور مثال ابررساناهای قدرتمندتر و کارآمدتر قادرند به طور چشم‌گیری میدان‌های مغناطیسی را افزایش دهند و در نتیجه محصورسازی مغناطیسی را در زمان بیشتری محقق سازند. و با وارد عمل شدن هوش مصنوعی نیز شرایطی مهیا شده است که شبیه‌سازی راکتورهای گداخت تنها در کسری از ثانیه انجام پذیر باشد. در این حالت، محققان می‌توانند راکتورهای بهینه‌تری را طراحی کنند و یا تغییراتی در نسل‌های قبلی ایجاد کنند.

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، جهان در سال گذشته ۱۰ تریلیون دلار صرف انرژی کرده است، بنابراین انتظار می‌رود حتی بخشی از این سرمایه‌گذاری بتواند ده‌ها میلیارد درآمد ایجاد کند. به عبارت دیگر، یک نیروگاه گداخت تجاری شده می‌تواند دنیا را تغییر دهد. اما این تنها بخشی از دلایلی است که سرمایه‌گذاران در چند سال گذشته عمیقاً به سمت انرژی گداخت روی آورده‌اند. در حال حاضر سرمایه‌گذاران بر این باورند که نه تنها گداخت به نقطه سربه‌سری علمی می‌رسد (برابری تولید و مصرف انرژی)، بلکه بر این باورند که گداخت می‌تواند به عنوان منبعی برای تولید انرژی آینده در نظر گرفته شود، که از نظر اقتصادی به صرفه است.

زمانی که تأسیسات احتراق ملی وزارت انرژی ایالت متحده (NIF) اعلام کرد که به یک نقطه عطف رسیده و توانسته است یک واکنش گداخت موفقیت‌آمیز ایجاد کند. در واقع ثابت کرد که گداخت کنترل شده با انرژی خالص مثبت دیگر فقط یک تئوری نیست و امکان‌پذیر می‌باشد. وال ون لیروپ^۱، شریک و موسس Chrystalix Ventures در این مورد گفته است که "این صنعت به آرامی فاز آزمایشی را ترک می‌کند و به فاز عملی و بهره‌برداری می‌رود".

پس از این موفقیت، TechCrunch اعلام کرده است که در حال حاضر کشورهای صنعتی به دنبال سرمایه‌گذاران بیشتری برای تسریع بخشیدن به گداخت هستند، و همچنین به دنبال این هستند که با جذب

هرچه بیشتر متخصصان برتر گداخت، از نظرات آنها درباره چالش‌های صنعتی پیش‌رو استفاده کنند و در صدد حل این چالش‌ها باشند.

طبق این مصاحبه، از آنجایی که سرمایه‌گذاری خصوصی توجه بسیار زیادی را به گداخت اختصاص داده است، به تیم‌های تحقیقاتی این امکان را می‌دهد که نه تنها طرح‌های راکتور موجود را اصلاح کنند، بلکه جایگزین‌هایی که قبلاً رد شده بودند را نیز بررسی کنند. جوشونا پوسامنتیر^۱ مدیریت Congruent Ventures گفته است: "انتقال بودجه به بخش خصوصی با تمرکز بر تجاری‌سازی گداخت، دانش فیزیکی و تجربی بسیاری را پشت سر روش‌هایی از گداخت قرار داده است که برای سال‌ها در محیط‌های آکادمیکان نفوذ کرده بودند، اما با توجه به پروژه‌های بسیار بزرگی مثل توکامک ایترو یا گداخت به روش محصورسازی اینرسی تا حد زیادی نمی‌توانستند بودجه دریافت کنند."

این بدان معنا نیست که طرح‌های جدید در گداخت تجاری مطمئن‌تر هستند و یا اینکه سرمایه‌گذاران می‌توانند انتظار بازدهی زودتری نسبت به جدول زمانی معمول داشته باشند. برعکس، کیتی رای^۲، مدیرعامل The Engine گفته است: "اگر یکی از شرکت‌های خصوصی افق زمانی پنج تا هفت ساله دارد، سرمایه‌گذاری بر روی آن منطقی نیست!" در واقع شرکت‌ها زمان‌بندی‌های بسیار طولانی‌تری دارند، زیرا این نوع سرمایه‌گذاری منطقی‌تر و بر پایه اصول است. او همچنین می‌گوید: "فرصت‌های اقتصادی جدول زمانی را توجیه می‌کند، احتمالاً ارقام سرمایه‌گذاری در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت و این می‌تواند دستیابی به گداخت را تسریع بخشد؛ اما در یک چهارچوب زمانی معقول این اتفاق خواهد افتاد. من انتظار دارم که با دستیابی به مجموعه‌ای از نقاط عطف، شاهد ورود مبالغ بیشتری به استارت‌آپ‌های گداخت باشیم که مجدد می‌تواند منجر به پیشرفت هرچه بیشتر تجاری‌سازی گداخت شود!"

در ادامه، به این مهم می‌پردازیم که سرمایه‌گذاران چه انتظاری از گداخت دارند و همینطور به چه تعاملی بین دانشگاه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها، به منظور پیش برد واقعی گداخت، نیاز است.

^۱ JOSHUNA POSAMENTIER

^۲ KATIE RAE

۱. کیتی رای، مدیرعامل شرکت The Engine (شرکتی اسپین اف دانشگاه MIT) در سخنرانی خود و در پاسخ به این سوال که "گذاخت در گذشته وعده‌های زیادی را زیر پا گذاشته است. این بار چه فرقی دارد؟" اظهار داشت:

به راحتی می‌توان از بیرون از گود به گذاخت نگاه کرد و ضرب المثل "گذاخت همیشه ۳۰ سال دیگر است" را باور کرد. اما اگر به تحقیق بپردازید، از زمانی که تحقیقات مرتبط با گذاخت واقعاً در دهه ۱۹۵۰ شروع شده است، ضربان ثابتی از پیشرفت علمی و دستاوردهای گذاخت وجود داشته است. دستاوردهای گذاخت نه تنها در خود این حوزه بلکه در حوزه‌های بسیار دیگری نیز قابل استفاده است؛ تولید میدان‌های مغناطیسی بسیار قوی و یا لیزرهای پرتوان به خودی خود دستاوردهای مهمی محسوب می‌گردند. اما آنچه اکنون با قبل متفاوت است، تلاقی چند جریان کاری کلیدی است.

در چند سال گذشته چندین نقطه عطف مهم در این صنعت به دست آمده است. در سپتامبر ۲۰۲۱، Commonwealth Fusion Systems، نوع کاملاً جدیدی از فناوری ابررساناهای دمای بالا را نشان داده است که مسیر تجاری جدیدی را برای انرژی گذاخت امکان پذیر می‌کند.

در دسامبر ۲۰۲۲، مرکز احتراق ملی در آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور (NIF) آزمایش گذاختی را نشان داد که برای اولین بار در تاریخ، انرژی بیشتری از پلاسما نسبت به گرم کردن آن دریافت کرد. علاوه بر این، نوآوری‌ها و پیشرفت‌های قابل توجهی در فن‌آوری‌های جانبی وجود دارد، از جمله: پیشرفت‌های بسیار زیادی که در حوزه مواد رخ داده است، پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های محاسباتی با داده‌های بزرگ^۱ و بسیار غیرخطی به دست آورده‌ایم و یا اجزای الکترونیکی پیشرفته‌ای که در این حوزه ساخته شده است که می‌تواند کاربردهای بسیاری در حوزه‌های دیگر نیز داشته باشد. این قابلیت‌ها به زمان‌بندی مربوط به گذاخت نیز سرعت خواهند بخشید.

علاوه بر این، مواجهه با چالش‌های تغییر اقلیم نیازمند مواد و فرآیندهای جدیدی برای نحوه تولید، جابجایی، ذخیره و استفاده از انرژی است. برای کاهش شدیدترین پیامدهای تغییرات آب و هوایی و در عین حال ساختن ستون فقرات اقتصاد، شرکت‌های گداختی برای دهه‌های آینده تلاش می‌کنند. جهان را در سال ۲۰۵۰ تصور کنید. چشم انداز ما این است که ۱۰۰۰۰ نیروگاه برق گداخت بدون کربن، برق را به شبکه در سراسر جهان تحویل دهند و بیش از ۲۰ درصد تقاضای بشریت را برآورده کنند.

۲. فیل لاروچل^۱ یکی از شرکای Breakthrough Energy Ventures درباره‌ی گداخت گفت:

برای چندین دهه، پاسخ به این سوال که چه زمان به انرژی حاصل از گداخت خواهیم رسید مانند یک شوخی بود که اغلب تکرار می‌شد؛ همیشه ۱۰ یا ۲۰ سال دیگر فاصله داشت. آیا اکنون، ممکن است واقعاً گداخت در آستانه تجاری‌سازی باشد؟

تحقیقات گداخت چندین دهه است که در حال انجام است. اما اکنون، به نقطه عطفی رسیده است، و شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد این زمان متفاوت خواهد بود. حوزه‌ی گداخت بیش از ۶۰ سال وجود داشته است، اما در نیم دهه گذشته اتفاقات زیادی در تحقیقات مرتبط با آن اتفاق افتاده است. محققان رکوردهای جدیدی را برای مدت زمانی که می‌توانند پلاسمای فوق گرمی که برای گداخت نیاز است داشته باشند، را ثبت کرده‌اند. آهنرباهای دمای بالا، قوی‌تر و کارآمدتر شده‌اند. در نتیجه، توان تولید شده توسط هر آزمایش گداخت به طور پیوسته افزایش یافته است و به نقطه‌ای نزدیک می‌شود که راکتورها بیش از مصرف انرژی خود تولید می‌کنند که به نقطه سر به سر معروف است.

او افزود "در حال حاضر دلیل هیجان زده شدن در مورد گداخت، همان دلیل هیجان زده شدن در مورد کامپیوترها در دهه ۱۹۴۰ است، زمانی که شخصی ترانزیستور را اختراع کرد"

تحقیقات گداخت مانند یک مسابقه است، اما گروه‌های مختلف شرکت‌کننده مطمئن نبودند که در کجای مسیر قرار دارند. سپس، ناگهان همه آنها خط پایان را دیدند؛ راکتورها به اندازه انرژی مصرفی خود قادر به تولید انرژی هستند و این در واقع نقطه عطف بسیار بزرگی در گداخت هسته‌ای است.

با توجه به این نتایج، سرمایه‌گذاران با مقدار زیادی پول شرط می‌بندند که گداخت به زودی افکار منفی گذشته خود را از بین خواهد برد: طبق تجزیه و تحلیل TechCrunch، استارت‌آپ‌های گداخت تنها در سال گذشته ۲/۷ میلیارد دلار جمع‌آوری کرده‌اند.

چنین انفجار ناگهانی در پیشرفت در تعدادی از رویکردهای مختلف ممکن است در نگاه اول غیرقابل قبول به نظر برسد؛ اما این نشان می‌دهد که زمان گداخت فرا رسیده است.

او همچنین در پاسخ به این سوال که "آیا ما واقعا در یک نقطه عطف در گداخت هستیم؟" گفت: "ما کاملاً این را باور داریم." Breakthrough Energy Ventures یکی از معدود شرکت‌های سرمایه‌گذاری است که بودجه قابل توجهی را بر روی به وقوع پیوستن گداخت صرف کرده است. این سرمایه‌گذاری که توسط بیل گیتس شروع شد، سال گذشته به یک سرمایه‌گذاری ۱/۸ میلیارد دلاری برای Commonwealth Fusion Systems پیوست که سومین سرمایه‌گذاری آن در این استارت‌آپ بود. شورون^۱ و گوگل^۲ یک سرمایه‌گذاری ۲۵۰ میلیون دلاری را برای TAE Technologies رهبری کردند که از سال ۱۹۹۸ وجود داشته است. هلیون انرژی^۳ نیز سال

^۱ Chevron

^۲ Google

^۳ Helion Energy

گذشته ۵۰۰ میلیون دلار به رهبری سم آلتمن^۱ جمع آوری کرد. Zap Energy همچنین یک سرمایه ۱۶۰ میلیون دلاری را در اوایل سال جاری به دست آورد.

این پول زیادی است که بر روی یک فناوری هنوز اثبات نشده صرف شده است؛ و به طور همزمان نشان می‌دهد که گداخت به نقطه عطفی رسیده است و ما از همیشه به آن نزدیکتر هستیم. در نتیجه، هر کس تمایل دارد در لحظه‌ی به وقوع پیوستن گداخت مشارکتی در آن داشته باشد. زیرا این تنها راه برای جلوگیری از بدترین تأثیرات تغییرات آب و هوایی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی از ۵۱ میلیارد تن در سال به صفر خالص است، و ما باید تا سال ۲۰۵۰ این کار را انجام دهیم.

۳. وال ون لیروپ^۲ موسس Chrysalix Venture Capital، و عضو هیئت مدیره General Fusion در مورد گداخت افزود، این آزمایش حتی بیشتر از حد انتظار انرژی تولید می‌کند.

در ۵ دسامبر، درست بعد از ساعت ۱۰:۰۳ بامداد، ۱۹۲ لیزر در مرکز احتراق ملی (NIF) روی یک استوانه طلایی کوچک که حاوی یک دانه کوچک سوخت متشکل از دو ایزوتوپ هیدروژن، یعنی دوتریوم و تریتیوم بود، همگرا شدند. در یک لحظه، سیلندر تبخیر شد و اشعه ایکس ساطع کرد که قرص سوخت را بمباران و لایه الماس بیرونی آن را به پلاسمای در حال انبساط تبدیل کرده است. در این حالت، سوخت در داخل محفظه تا جایی که هسته‌های آن ذوب و فیوژ شدند فشرده شد و مقدار زیادی انرژی آزاد گشت.

شاید دوست دارید بدانید چه مقدار انرژی؟ هنگامی که قرص سوخت مشتعل شد و یک واکنش گداخت پایدار ایجاد کرد، حدود ۵۰ درصد بیشتر از انرژی لیزرهای آزمایش (بزرگترین و پرانرژی‌ترین سیستم لیزری جهان) انرژی آزاد کرد. انرژی لیزر، قرص سوخت را تا ۱۵۰ میلیون درجه سانتیگراد

^۱ Sam Altman

^۲ WAL VAN LIEROP

گرم می‌کند و آن را با فشاری بیش از دو برابر فشاری که در مرکز خورشید وجود دارد، فشرده می‌سازد.

به طور دقیق، لیزرها ۲,۰۵ مگاژول انرژی وارد کردند و واکنش گداخت ۳,۱۵ مگاژول آزاد کرد. این حتی بهتر از پیش‌بینی‌ها بود. تیم آزمایشگاه ملی لاورنس لیورمور پس از آن، زمان خود را صرف رمزگشایی داده‌های حاصل برای تعیین نتایج دقیق کرد. تنها ۴ درصد از سوخت دوتریوم-تریوم در واکنش گداخت سوزانده شده بود که نشان‌دهنده فضای زیادی برای بهبود است. ساخت سیلندر طلا حدود دو هفته طول کشید و قرص سوخت پوشش داده شده با الماس حدود هفت ماه طول کشید تا تولید شود.

از نظر علمی و فنی، بهره واکنش مثبت بوده است؛ اما در شرایط واقعی، انرژی بسیار کمتری نسبت به آنچه که از یک نیروگاه تجاری انتظار می‌رود، تولید شده است که به زودی بهبود بخشیده خواهد شد.

۴. آلیس بروکس^۱، مدیر شرکت Khosla Ventures، در پاسخ به این سوال که چرا ما فقط

سعی می‌کنیم با گداخت برق تولید کنیم؟ پاسخ داد:

این اساساً همان چیزی است که سرمایه‌گذاران وقتی می‌خواهند شرکتی را از طرح آزمایشی به راکتوری به عنوان منبع انرژی تبدیل کنند، به آن فکر می‌کنند. آن‌ها به این فکر می‌کنند که این راکتور تنها برق تولید نمی‌کند بلکه گرما نیز تولید خواهد کرد، که کاملاً به جا است.

اما باید در نظر داشت که گداخت، بر خلاف برخی دیگر از منابع انرژی طراحی شده به منظور کربن‌زدایی، بهترین عملکرد را از خود نشان داده است به ویژه زمانی که بتواند به صورت مداوم کار کند.

^۱ ALICE BROOKS

مجموعه‌های بسیاری مانند پالایشگاه‌های شیمیایی و یا ذوب فلز با کمبود برق مواجه هستند، این کمبود برق ممکن است حتی به تعطیلی این صنایع بیانجامد زیرا توان مصرفی آنها بسیار بالاست. آیا برای آن فکری کرده‌اید؟ آیا فکر می‌کنید که سوخت‌های فسیلی پاسخ‌گوی چنین نیازی هستند؟ اگر بله، سوال من این است که این سوخت‌ها تمام نخواهند شد؟ در بهترین حالت که ما فرض کنیم به میزان کافی سوخت فسیلی داریم که نداریم، به کره‌ی زمین و آلودگی شدید ناشی از تولید کربن فکر کرده‌اید؟ احتمالاً الان منابع تجدیدپذیر انرژی را در نظر دارید. لازم است بگوییم سهم تولید برق تجمعی پیش‌بینی شده توسط فناوری‌های مختلف در سال‌های ۲۰۶۷ تا ۲۱۰۰، با در نظر گرفتن هزینه‌های زیست محیطی مرتبط با کربن برآورد شده است، این برآوردها نشان می‌دهد که در طولانی مدت به دلیل این که سوخت گداخت در دسترس است و عملاً منبعی پایان ناپذیر می‌باشد؛ هزینه‌های مرتبط با آن به شکل چشم‌گیری در مقایسه با انرژی‌های تجدید پذیر کاهش می‌یابد و آن را به منبعی به صرفه برای تولید انرژی تبدیل خواهد کرد. ما باید پیش از وقوع چنین اتفاقاتی (تعطیلی ارگان‌ها به دلیل کمبود برق) و پیش از آلودگی گسترده‌تر کره زمین به فکر برآورد کردن این میزان انرژی مورد تقاضا در حالت بدون کربن و پاک باشیم.