

## نقش ${}^7Li$ در تولید و زایش تریتیوم

محمد صدیق<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد فیزیک هسته ای دانشگاه صنعتی شاهرود

### چکیده

برای گرم نگه داشتن پلاسما پوششی با ساختار پیچیده ضخیم و سنگین مورد نیاز بوده که سه هدف اصلی الف: گیراندازی نوترون‌های تولید شده توسط گداخت و تبدیل انرژی آن‌ها به گرما ب: تولید تریتیوم برای تأمین سوخت واکنش دوتریوم ( $Dt$ ) و ج: حفاظت از مغناطیس‌های ابررسانا در مقابل تابش نوترون‌ها را برآورده کند. توکامک دارای خصوصیتی مثل محفظه خلا که چنبره ای شکل است و پلاسما را در بر میگیرد. پوشش که وظیفه اصلی آن جذب نوترونهای  ${}^{14}MeV$  و پلاسما را با تریتیوم مورد نیاز برای وقوع واکنش تغذیه می‌کند. پیچه‌های چنبره ای که جریانهای جاری شده در این پیچه‌ها باعث می‌شود تا یک میدان قطبی تولید گردد و پیچه‌های قطبی که ایجاد جریان در این پیچه‌ها یک میدان چنبره‌ای تولید می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** پلاسما، پوشش بارور، لیتیوم، تریتیوم، نوترون، زایش تریتیوم (TBR)

## ۱. مقدمه

تریتیوم (Tritium) به ایزوتوپی از هیدروژن می‌گویند که عدد جرمی در آن ۳ است یعنی دارای یک پروتون و دو نوترون است. تریتیوم طبق قاعده پائولی یک رادیوایزوتوپ (رادیواکتیو) است که نیمه‌عمر آن ۱۲/۳۲ و جرم آن ۳/۰۱۶۰۴۹۲ واحد اتمی است [۲]. لیتیوم با نماد شیمیایی Li یک فلز قلیایی نقره‌ای سفید و نرم با عدد اتم ۳ است این عنصر در شرایط استاندارد دما و فشار سبک‌ترین فلز و کم چگالی‌ترین عنصر جامد است. لیتیوم در طبیعت به مقدار فراوان یافت شده که به صورت دوایزوتوپ جدا  ${}^6\text{Li}$  (۶/۹۲٪) و  ${}^7\text{Li}$  (۷/۴٪) می‌باشد [۲].

پلازما یک گاز یونیزه شده است که از الکترون‌ها و یون‌های مثبت تشکیل شده است. پوشش بارور به سه واحد مجزا جهت جابه‌جایی و تعویض آسان‌تر تقسیم می‌گردد [۳]. و در داخل توکامک قرار می‌گیرد.

در پوشش بارور ابتدا پلازما با دیواره اولیه و همچنین سطح پوششی بارور برخورد می‌کند. سپس نوترون‌ها وارد پوشش بارور شده و در آنجا (که محل زایش تریتیوم است) انرژی آن‌ها گرفته می‌شود. گرما توسط گاز داغ یا خنک‌کننده‌های مایع گرفته شده و تحویل مبدل گرمایی در بیرون از محفظه می‌شود. ماده سازنده حفاظ، دیواره‌های محفظه خلأ و مغناطیس‌های ابررسانا را از گرما و تابش نوترون‌ها محافظت می‌کند. پیچ‌های مغناطیسی در بیرون از محفظه خلأ قرار گرفته‌اند. پیچ سیم لوله مرکزی در وضعیت بحرانی قرار دارد، زیرا اتاق‌های زیادی در حفره چنبره‌ی حلزونی شکل جهت تطبیق این پیچ در داخل وجود ندارد. کل دستگاه در داخل یک محدوده‌ی تبرید که پیچ‌های مغناطیسی را از دنیای بیرون جدا کرده، قرار می‌گیرند تا این مجموعه در دمای لازم برای حفظ خاصیت ابررسانی نگه داشته شوند. در این راکتور صدها قسمت از پوشش بارور وجود دارد که وزن هر کدام به یک تن می‌رسد. توکامک ایتر دارای سه دریچه‌ی قابل دسترس برای آزمایش مازورهای پوشش بارور است (شکل ۱) [۴].



شکل ۱- تصویری از توکامک - پیچ‌های میدان قطبی و چنبره‌ای، محفظه خلأ و پوشش بارور

## ۲. زایش تریتیوم (TBR)

لیتیوم به عنوان یک فلز استراتژیک در دنیا شناخته شده است و در صنایع با تکنولوژی بالا نظیر صنایع هسته‌ای، هوافضا، خودروسازی، باتری‌سازی، نظامی، شیشه و سرامیک، روانکارها و بسیاری صنایع دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در دنیا، لیتیوم را به عنوان عنصر قرن ۲۱ معرفی کرده و از آن به عنوان منبع اصلی ذخیره انرژی در آینده یاد می‌کنند. لیتیوم سبک‌ترین عنصر موجود در میان تمامی جامدات با عدد اتمی ۳ و دارای چگالی بسیار پایین (نصف چگالی آب) است. واکنش‌پذیری این فلز به شدت بالا بوده به طوری که در



در یک نیروگاه گداخت هزار مگاواتی سالانه بین ۱۵۰-۵۰ کیلوگرم تریتیوم مصرف می‌شود. که خیلی بیشتر از مقداری است که می‌تواند به وسیله منابع دیگر نظیر راکتورهای شکافت تأمین شود. برای تأمین این مقدار تریتیوم در پوشش‌های بارور به چیزی کم‌تر از ۳۰۰ کیلوگرم  ${}^6\text{Li}$  در سال برای هر راکتور (توکامک) نیاز داریم. نکته قابل توجه اینکه در حدود  $10^{11}$  Kg لیتیوم در خشکی و در اقیانوس‌ها  $10^{14}$  Kg لیتیوم وجود دارد. بنابراین اگر انرژی مورد نیاز بشر توسط نیروگاه‌های گداخت هسته‌ای تأمین شود، برای حدود ۳۰ میلیون سال مقدار لیتیوم موجود کافی خواهد بود. حتی دوتریوم (DT) می‌تواند برای مدتی خیلی بیشتر از این در تأمین انرژی نقش داشته باشد. در آب اقیانوس‌ها حدود  $5 \times 10^{16}$  Kg دوتریوم وجود دارد که با توجه به آهنگ مصرف  $100$  Kg دوتریوم برای هر راکتور در سال تا ۳۰ بیلیون سال انرژی مورد نیاز بشر را می‌تواند تأمین کند.

نوترون‌های با انرژی  $14$  MeV با یک ماده کندکننده برخورد کرده و سپس با برخورد به هسته‌های لیتیوم، یک ذره آلفا ( ${}^4\text{He}$ ) و یک تریتیوم تولید می‌شود. در کل محصولات هر واکنش مقدار  $4/8$  MeV انرژی حمل می‌کنند که از شکافت هسته لیتیوم ناشی می‌شود. این مقدار انرژی به همراه انرژی نوترون، به یک مایع یا گاز خنک‌کننده منتقل می‌شوند و در نهایت جهت تولید الکتریسیته به بخار آب تبدیل می‌شود [۸].

واکنش  $n-{}^7\text{Li}$  مشابه واکنش قبلی است با این تفاوت اساسی که یک نوترون کند باقی می‌ماند که تریتیوم دیگری می‌تواند تولید کند ذکر این نکته که  ${}^7\text{Li}$  فقط با نوترون‌های سریع برهم‌کنش می‌کند در اینجا مشکل این است که تریتیوم به اندازه کافی تولید نمی‌شود، چون فقط (۲۰-۴۰)٪ از نوترون‌ها با لیتیوم برهم‌کنش دارند. بعضی از نوترون‌ها جهت گرم کردن پلاسما و بعضی دیگر از آن‌ها توسط تجهیزات اندازه‌گیری از بین می‌روند. بعضی دیگر از نوترون‌ها در اثر برخورد با ساختارهای نگه دارنده از بین رفته و در پایان برخی دیگر نیز با عبور از حجم پوشش بارور از بین می‌روند. بنابراین برای جبران نوترون‌های از دست رفته از موادی که تکثیرکننده نوترون هستند استفاده می‌شوند که می‌توان به  ${}^{208}\text{pb}$  و  ${}^9\text{Be}$  اشاره کرد. این مواد به ازای هر نوترون ورودی، دونوترون تولید می‌کنند [۹].

### ۳. نتیجه‌گیری

${}^6\text{Li}$  برای تولید و زایش تریتیوم بیشتر از  ${}^7\text{Li}$  کاربرد دارد و مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون  ${}^6\text{Li}$  می‌تواند هم با نوترون‌های سریع و هم با نوترون‌های کند واکنش دهد و تریتیوم تولید کند. در صورتی که  ${}^7\text{Li}$  فقط می‌تواند با نوترون‌های سریع واکنش دهد و منجر به تولید تریتیوم شود.  ${}^6\text{Li}$  نسبت به  ${}^7\text{Li}$  کاربرد خیلی بیشتری داشته و به راحتی می‌تواند بین (۳۰-۹۰)٪ جهت استفاده در پوشش بارور غنی می‌شود.

### ۴. قدردانی

با تشکر از استاد عزیز و ارجمندم جناب آقای دکتر حسن حسن آبادی دکتری فیزیک هسته‌ای که همواره مشوق بنده بوده و همواره در این مسیر به بنده امید و انگیزه داده اند.

## منابع و مراجع

- [1]Wesson J (1987) Tokamak Oxford Engineering science series.clarendon press, Oxford
- [2]Lawson J .D. (1957) Semecriteria for a power producing The monuclear Reactor.Proceedings of the Physical Society B 70:6-10.
- [3]ChenF.F.(1974) Introduction to Plasma Physics. Plenum press. New York.
- [4]Sartoni F.,Cenedese A.,Milani F.(2003)JET real-time object-oriented code For Plasma boundaryreconstruction Fusion Engineering and Design 66-68:735-739.
- [5]lithium process chemistry Resources ,batteries, and Recycling .Alexandre changes, jolanata swiatow ska,2013.
- [6] Sheffield J. (1994) The Physics of magnetic fusion reactors. Reviews of Modern Physics ۶۶ ۱۰۱۵-۱۱۰۳.
- [7]Moiyama S., Nakamura K., Nakamura Y., Itoh S., (1985)Analysis of vertical plasma in tokamak system J apanex Journal of Applied
- [8] Grossner J.R., Vyas P., Keuvaritak is B., Morris A.W.(1999) Application of cautions stable predictive control to vertical positioning in COMPASS\_D tokamak . IEEE Trans.on Control Systems Technology 7:580-587
- [9]Mori M., Suzuki N., Shojia T., Yanagisamal., Tani T., Matsuzaki Y.(1987) stability limit of feedback control of vertical plasma position in the FT-2M tokamak. Nuclear Fusion ۱۸:۱۵۵۵:۱۵۶۷.