مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال پنجم، شماره ۵۶، اسفند ۱۴۰۲
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

نقش طراحی های پوشش بارور در توکامک(راکتور گداخت هسته‌ای)

محمد صدیق [۱]

[۱] کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

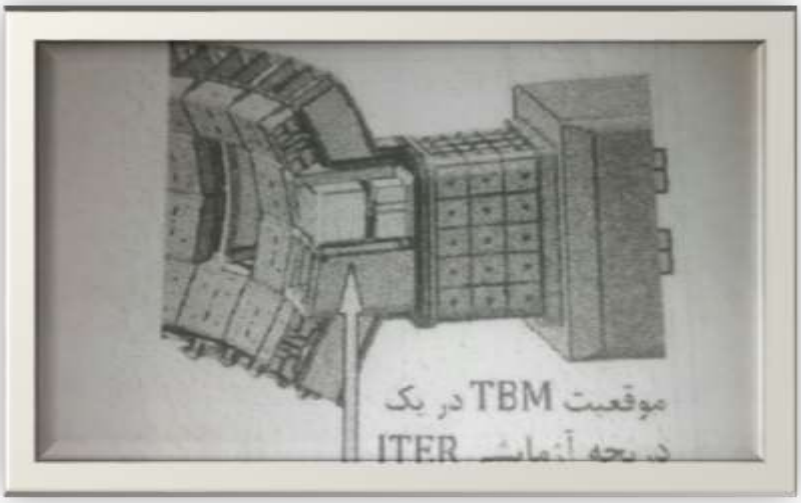
چکیده

پوشش بارور سرامیکی خنک شونده با هلیم(HCCB)ازماده جامد باتکثیرکننده بریلیم و لیتیم به عنوان زاینده تریتیم در دسته های مجزا استفاده می کند. در پوشش بارو دیگری از آلیاژ مذاب سرب -لیتیم(۰۱۷/۰ لیتیم-۶غنی شده تا ۰۹۰/۰)خنک شونده توسط هلیم (HCCL)استفاده میشود. این آلیاژدر دمای C۲۳۴ که پایین تر از دمای ذوب اجزای سازنده آن است، ذوب می شود. این پوشش از دمای C۴۰۰ تاC۶۶۰توسط نوترون ها گرم می شود. تریتیم تولید شده در pb-Li می تواند توسط یکی از دو روش نفوذ و یا حباب زدن باز یافت شود. در پوشش بارور pb-Li, تریتیم در داخل پوشش بارور به درون خنک‌کننده هلیم و یا دیگر مکان هایی که ورود به آنها ممنوع نیست، نفوذ می کند. امروزه pb-Li به جای فلورید بریلیم و فلورید لیتیم به عنوان یک شاره زاینده استفاده می شود. پوشش بارور سرب -لیتیم با خنک شوندگی دو گانه (DCLL)از هردو خنک کننده هلیم وpb-Li بهره می گیرد. در طراحی های پیشرفته هلیم حذف شده و در پوشش بارور سرب -لیتیم خود pb-Li نقش خنک کننده را هم بازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پوشش بارور، توکامک، خنک شونده

مقدمه

پوشش بارور برای گرم نگه داشتن پلاسما به کار میرود. که دارای ساختاری پیچیده، ضخیم وسنگین است. برای خنک سازی پوشش بارور طراحی های مختلفی جهت خنک سازی در نظر گرفته می شود. خنک کننده های اصلی عبارتند از :آب پر فشار، فلزات مایع و هلیم هستند. آب میتواند فقط برای آزمایشات فعلی و کوتاه مدت گداخت مفید واقع شود. راکتورها به احتمال زیاد به گاز هلیم در دماهای بالا نیاز خواهند داشت. مواد ساختاری مشابه موادی هستند که برای دیواره اولیه در نظر گرفته شده اند و عبارتند از :فولاد های آهن دار،آلیاژ های وانادیم وترکیبات کربید سیلیکون.لیتیم میتواند به شکل سنگریزه های جامد از سرامیک لیتیم، مخلوطی مایع از سرب ولیتیم و یا به صورت نمک مذاب فلایب(FLiBe)باشد[۱].شکل (۱)نشان میدهد که چگونه یک TBM در یکی از دریچه های توکامک ایتر قرار داده میشود.در ادامه طراحی های مختلفی جهت خنک سازی پوشش بارور و همچنین چگونگی استفاده از لیتیم پیشنهاد شده اند که به ذکر سه نمونه از آنها می پردازیم.

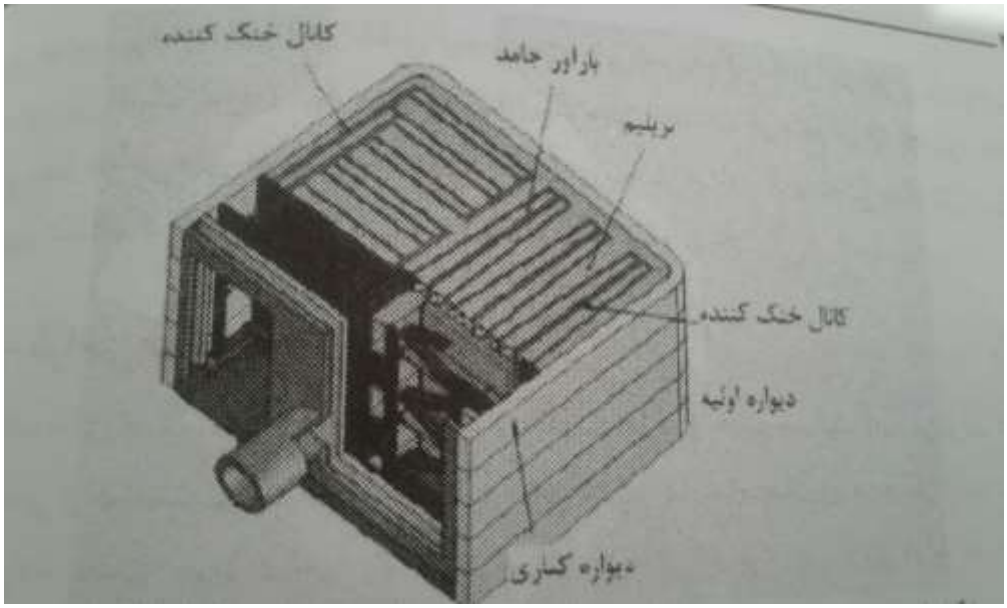


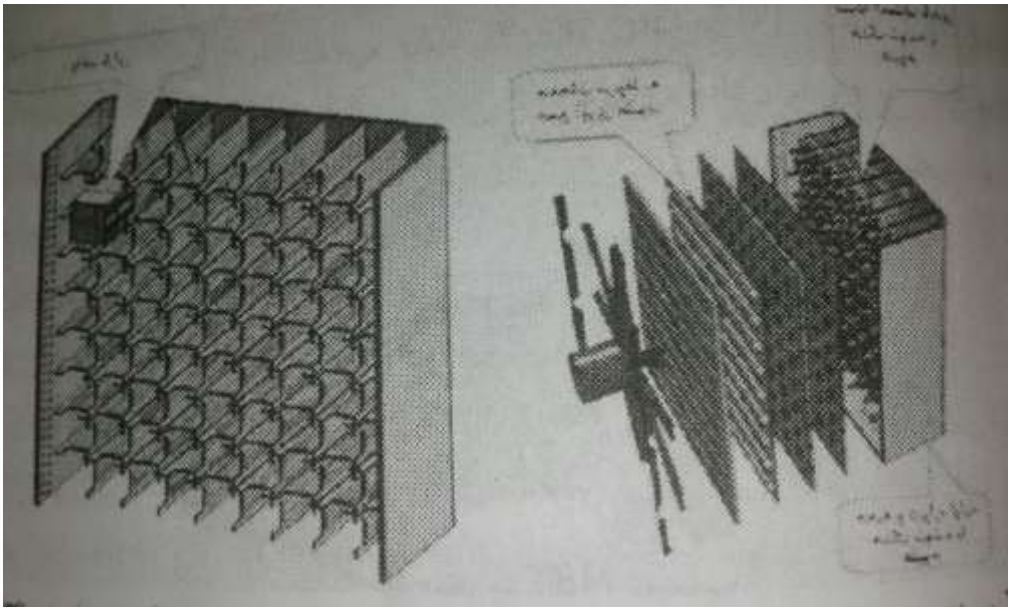
شکل (۱):چگونگی قرار دادن اجزای پوشش بارور آزمایشی در داخل ایتر وقسمت جایگزین دیواره اولیه[۲]

طراحی های مختلف جهت خنک سازی پوشش بارور:

ازجمله پوشش های بارور میتوان به پوشش بارور سرامیکی خنک شونده با هلیم (HCCB)اشاره کرد. این پوشش بارور از ماه جامد با تکثیر کننده بریلیم ولیتیم به عنوان زاینده تریتیم در دسته های مجزا استفاده میکند. شکل(۲)قسمت‌هایی از یک واحد HCCB رانشان میدهد. بین ورقه های شامل بریلیم وسرامیک لیتیم، کانال های خنک کننده تعبیه شده که هلیم تحت فشار ۸۰ اتمسفر به داخل آنها پمپ میشود. دمای هلیم میتواند تا۵۰۰ درجه

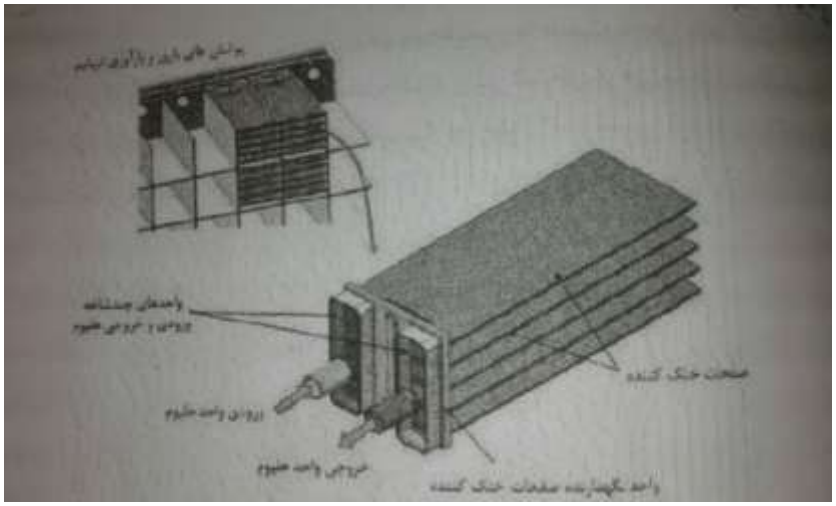
سانتیگراد رسیده ودمای ماده زاینده تا۹۰۰ درجه سانتیگراد برسد. توجه شود که قسمت جلویی پوشش بارور در واقع قسمتی از دیواره اولیه است. در راکتور،یک واحد پوشش بارور میتواند از زیر واحدهایی تشکیل شده باشد که در شکل(۳)نشان داده شده اند. ضخامت پوشش بارور نشان داده شده در حدود ۵۰ سانتیمتر و پهنای آن ۳متر است.





شکل(۳):شمایی از یک واحد پوشش بارور بزرگ مدل سمت چپ نشان دهنده چندین لایه از شبکه های مربوطه و میله های خنک‌کننده است. دیواره اولیه(FW)در سمت چپ قرار گرفته است. نمای سمت راست بیانگر قسمت‌هایی است که می بایست توسط زیر واحد ها تکمیل گردند[۱].

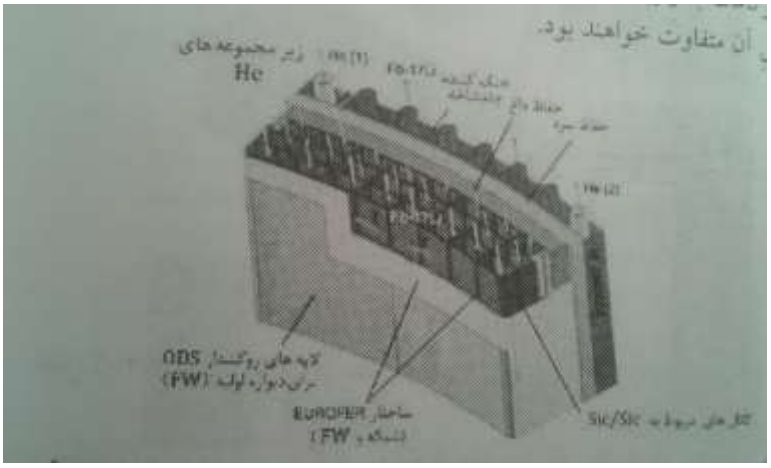
ماده زاینده جامد شامل سنگریزه های سرامیکی Li4Sio4و Li2Tio3 با دیگر مواد مشابه است .روش هایی جهت ساخت سنگریزه های کروی شکل پیشنهاد شده است. قطر این سنگریزه ها می بایست کوچک تر از ۱ میلی متر باشدتا اختلاف دما در عرض شعاع به کمترین حد برسدو از ترک خوردن سنگریزه های شکننده جلوگیری شود. به منظور استخراج تریتیم می بایست شار هلیم همراه با مقداری دوتریم یا هیدروژن از کف سنگریزه ها عبور کند وبدین ترتیب تریتیم توسط شار عبوری حمل گردد.سپس گاز منجمد شده و توسط تقطیر جدا میشوند. چرا که هرکدام ازگازها دارای نقطه جوش متفاوتی هستند. در پوشش بارور دیگری از آلیاژ سرب -لیتیم (۰۱۷/۰ لیتیم-۶غنی شده تا ۰۹۰/۰)خنک شونده توسط هلیم (HCLL)استفاده میشود. این آلیاژ مذکور در دمای C۲۳۴ که پایین تر از دمای ذوب اجزای سازنده آن است، ذوب میشود. پوشش بارور مذکور از دمای C۴۰۰ تا دمای C۶۶۰ توسط نوترونها گرم میشود. ازآنجا که سرب یک تکثیرکننده نوترونی مانند بریلیم است تکثیر وزایش در ماده مذاب صورت می پذیرد. اجزای نشان داده شده در شکل(۳)دارای مسیرهای دایره‌ای شکل حاوی pb-Li همراه با کانال های خنک‌کننده هلیم می باشند. بخش مربوط به هلیم درشکل (۴)نشان داده شده وpb-Li به میان صفحات خنک‌کننده خواهد رفت.



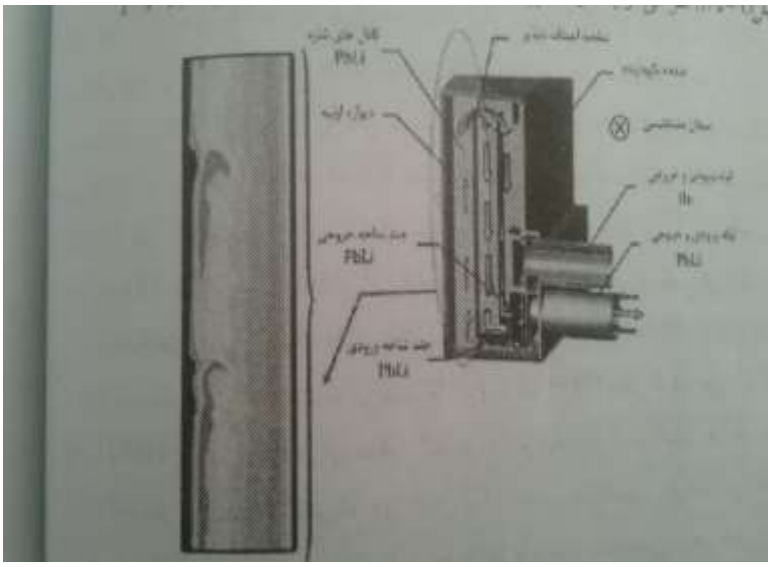
شکل(۴):آرایش خنک‌کننده هلیومی در یک زیر واحد پوشش بارور (HCCL)[2].

تریتیم تولید شده درpb-Li می‌تواند توسط یکی از دو روش نفوذ و یا حباب زدن بازیافت شود. هیدروژن تمایل به پخش از دیواره ها داشته و تریتیم هم یکی از ایزوتوپ های آن است. تریتیم در داخل پوشش بارور به درون خنک کننده هلیم و یا به دیگر مکان ها یی که ورود به آنها ممنوع نیست، نفوذ می کند. در خارج از پوشش بارور، دریچه های نفوذ به گونه ای طراحی شده اند که اجازه عبور هیدروژن از آنها و مخلوط شدن با هلیم جهت رسیدن به دستگاه جدا سازی تریتیم را می دهند.pb-Li به طور متناوب می تواند در داخل ستون ها حباب تشکیل دهد. سپس حباب های هلیم، تریتیم را در مایع pb-Li به دام انداخته و آن را جهت انجام فرآیند های بعدی حمل می کنند. در توکامک های قبلی از نمک مذاب فلایب شامل فلورید بریلیم (BeF2) وفلورید لیتیم (LiF)به عنوان یک شاره زاینده استفاده شده است، اما امروزه pb-Li به کار گرفته می شود [۳و۴].کار کردن با FLiBe یا pb-Li دارای معضل شاره مگنتو هیدرودینامیک است. هر دو آنها شاره های رسانای الکتریکی بوده و هنگامی که در داخل یک میدان مغناطیسی حرکت می کنند، جریان های الکتریکی در داخل شاره ایجاد می کنند. این جریان ها با میدان

مغناطیسی بر هم کنش نموده و باعث ایجاد کشش بر روی حرکت شاره می شوند. با عنایت به میدان های مغناطیسی شدید در توکامک، این کشش چالشی جدی بوده که باعث افزایش توان پمپ می شود. چنانچه شار در طول خطوط میدان مغناطیسی جریان یابد،این کشش دارای مقدار پایینی است.درهر حال، این شاره برای خارج شدن از ناحیه زایشگر مجبور به عبور از عرض خطوط میدان است. آخرین پوشش بارور دیگری که می توان بدان اشاره کرد، پوشش بارور سرب-لیتیم با خنک شوندگی دوگانه (DCLL)از هر دو خنک‌کننده هلیم وpb-Li بهره می گیرد. این طراحی در شکل(۵)نشان داده شده است. از آنجا که pb-Li به شکل مایع است. قادر خواهد بود که به مبدل گرمای خود فرستاده شده و مانند خنک کننده خودش عمل کند. هلیم برای خنک کردن جداگانه دیواره اولیه بکار برده می شود. در شکل (۶)شار را در کانال های pb-Li در حالتی که جهت میدان مغناطیسی درون سو است،مشخص کردیم. جریان های گردابی شار محاسبه شده و در نقشه فرعی نشان داده شده اند. از آنجا که هر بخش درون توکامک با زاویه ای متفاوت نسبت به میدان مغناطیسی قرار دارد، ساختار شار و افت فشار در هر بخش آن متفاوت خواهند بود.



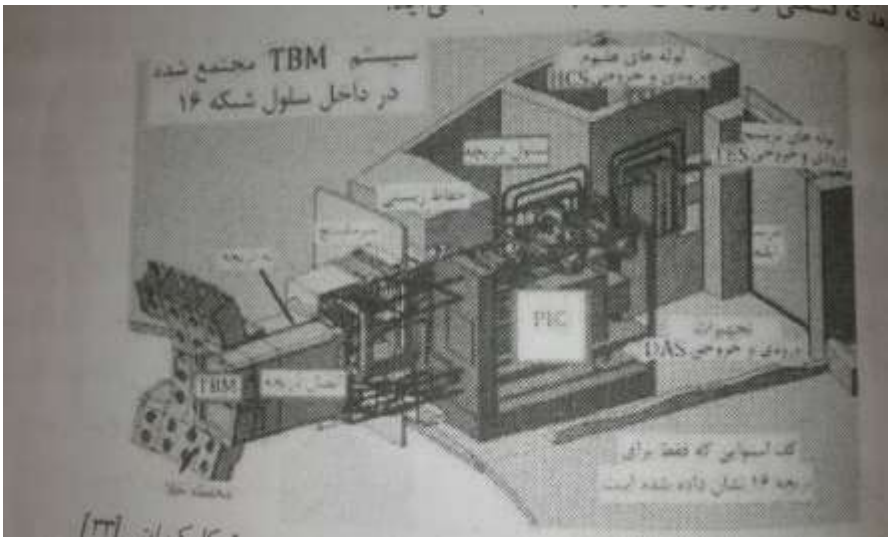
شکل (۵):طرحی از یک واحد پوشش بارور خنک شونده دوگانه لیتیم-سرب[۵]



شکل (۶):منحنی جریان لیتیم-سرب در یک زیر واحد پوشش بارور (DCLL).نقشه فرعی، نتایج کامپیوتری جریان های فوکو در یکی از ستون ها را هنگامی که جریان عمود برخطوط میدان مغناطیسی باشد نشان می دهد[۶]

صدیق, [۱۵,۰۱,۲۴ ۱۷:۳۷]

در طراحی های پیشرفته، هلیم حذف شده ودر پوشش بارور سرب -لیتیم، خود pb-Li نقش خنک‌کننده را هم بازی می کند. این کار به توان بزرگی برای پمپ سریع pb-Li در مقابل فشار ایجاد شده توسط میدان مغناطیسی نیاز دارد. همچنین امکان انجام این کار بستگی به توسعه ماده بسیار عجیبSiC/SiC دارد که قادر به فعالیت در دمای بالاتری (C۱۰۰۰)نسبت به سایر موارد است. طراح های مختلف پوشش بارور به تنهایی همه ابزار کمکی لازم برای عملکرد صحیح پوشش بارور را تشکیل نمی دهند. ساختار یک TBM در توکامک ایتر که مملو از لوله ها،مبدل حرارتی و حفاظ هاست در شکل (۷)نشان داده شده اند. بخش پوشش بارور فقط قسمتی منحنی شکل را تشکیل می دهد که قسمتی از دیواره اولیه به حساب می آید.



شکل (۷):طرحی از یک پوشش بارور آزمایشی پیشنهادی ویژه توکامک ایتر[۷]

پوشش های بارور یک راکتور کامل می بایست علاوه بر نیازمندی های خنک‌کننده و زایش تریتیم، نیاز های بسیاری را برآورده کنند. پایداری و عملکرد مطلوب مثال هایی از چالش های جدی یک راکتور در طول ۲۵ سال فعالیت آن به شمار می آیند. ماده پوشش بارور می بایست به گونه‌ای باشد که بتواند درطول حیات راکتور به دفعات تعویض گردد. زایش گرهای جامد از قبیل سنگریزه ها (HCCB)نیز پس از مدتی فعالیت می بایست با سنگریزه های جدید تعویض شوند. درپوشش های بارور مایع، pb-Li می تواند در خارج از پوشش بارور منتشر و بدون برداشتن پوشش بارور تعویض شود. سرانجام خود پوشش های بارور می بایست تعویض شوند. برای جایگزینی هرچه آسانتر آنها،پوشش های بارور به شکل موز طراحی شده اندتا با ساختار پلاسمای D شکل سازگار باشند. عملیات تعویض می بایست با روبات های کنترل از راه دور انجام شود، زیرا این قطعات در حین عملکرد راکتور رادیو اکتیویته بالایی کسب می‌کنند. از آنجا که پوشش های بارور در داخل محفظه خلا قرار می گیرند، باید فاقد هرگونه نشتی باشند. جوش

های صنعتی می بایست بسیار محکم و ایمن باشند. واسطه های فراوانی در داخل پوشش بارور میان زایشگر ها و خنک‌کننده ها وجود داردو به همین دلیل برطرف کردن کامل نشتی بدون برداشتن کل پوشش بارور غیر ممکن است. همچنین مفاصل زیادی در لوله هایی که پوشش بارور را به خارج از محفظه خلا متصل می کنند وجود دارند. در حین فعالیت راکتور، حوادث گریز ناپذیرند و می بایست احتیاط فراوانی در رآکتور توکامک صورت پذیرد، زیرا حدود یک میلیون مکان برای وقوع نشتی در محفظه آن وجود دارد. به عنوان مثال،در سال ۲۰۰۸ میلادی دستگاه عظیم برخورد دهنده بزرگ هادرونی (LHD)در ژنو دستخوش نشتی در سیستم هلیم مایع گردید که باعث تاخیر در شروع به کار این ماشین برای بیشتر از یک سال شد.

نتیجه گیری :

برای طراحی های پوشش بارور در توکامک(راکتور گداخت)می توان ۳ نوع پوشش بارور متصور شد.پوشش بارور سرامیکی خنک شونده با هلیم (HCCB)ازماده جامد باتکثیرکننده بریلیم و لیتیم به عنوان زاینده تریتیم در دسته های مجزا استفاده می کند. در این نوع پوشش بارور، بین ورقه ها،کانالهای خنک‌کننده تعبیه شده که هلیم تحت فشار ۸۰ اتمسفر به داخل آنها پمپ می شود. دمای هلیم می تواند تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد رسیده و دمای ماده زاینده تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد باشد. نوع دیگر پوشش بارور، پوشش باروری است که در آن از آلیاژ مذاب سرب - لیتیم (۰۱۷/۰ لیتیم -۶ غنی شده تا ۰۹۰/۰)خنک شونده توسط هلیم (HCLL)استفاده می شود. این آلیاژ در دمای C۲۳۴ که پایین تر از دمای اجزای سازنده آن است، ذوب می شود. این پوشش بارور از دمای C۴۰۰ تادمای C۶۶۰ توسط نوترون ها گرم می شود. آخرین نوع پوشش بارور، پوشش بارور سرب -لیتیم با خنک شوندگی دوگانه (DCLL)است که از هر دو خنک‌کننده هلیم وpb-Li بهره میگیرد. در این طراحی از آنجا که pb-Li به شکل مایع است، قادر خواهد بود که به مبدل گرمای خود فرستاده شده و مانند خنک‌کننده خودش عمل کند. در این نوع پوشش، هلیم برای خنک کردن جداگانه دیواره اولیه به کار برده می شود. در نهایت پوشش های بارور یک راکتور کامل باید علاوه بر نیازمندیهای خنک‌کننده و زایش تریتیم، نیاز های بسیاری را برآورده کنند. ماده پوشش بارور باید به گونه‌ای باشد که بتواند در طول حیات راکتور به دفعات تعویض شود. پوشش های بارور به دلیل اینکه در داخل محفظه خلا قرار می گیرند باید فاقد هرگونه نشتی باشند.

سپاسگزاری :

ازاساتید بزرگوار، سرکار خانم دکتر یاسمن نصیرزاده، آقای دکتر حسن حسن آبادی و آقای دکتر علیرضا توسلی که همیشه مشوق این حقیر هستند،کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع

.۱Giancarli,2004,The PPCS In-vessel Component Concepts (International School on Fusion Reactor Technology, Erice, Italy .

.۲N.B.Morley,M.Abdou, 2005 in Fusion Power Associaes Annual Meeting,Washington, DC,Oct

.۳J. Takeuchi et al, 2008, Fusion Eng. Des. 83, 1082

.٤S. Smolentsev,etal, 2008,Fusion Eng. Des. 83, 771

.٥D.Ward(UKAEA,Culham, UK),2004, Impact of Physics on Power Plant Disign and Economics(International School on Fusion Reactor Technology, Erice, Italy(

.٦M.Abdou, 2009, Challenges and development Pathways for fusion nuclear science and technology. Seminar, Seoul National University

.۷G. Janschitz, 2008,The development of commercial fusion energy in the EU. Seminar, University of California, Los Ange