

طراحی نرم افزار تشخیص مرز پلازما در توکامک دماوند (PBRCT)

رسول قدیری^(۱) - یحیی صادقی^(۲) - محمدحسین استکی^(۳)

^۱دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوریهای نوین، گروه مهندسی هسته ای

^۲سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده فیزیک پلازما و گداخت هسته ای

چکیده

پس از ایجاد الگوریتم محاسباتی تشخیص مرز پلازما در توکامک دماوند، طراحی یک نرم افزار محاسباتی منعطف به منظور پیاده سازی این الگوریتم مد نظر قرار گرفت. این نرم افزار با استفاده از پلت فرم دات نت و به زبان سی شارپ نوشته شده است. از جمله ویژگی های این نرم افزار می توان به خوانائی و قابل درک بودن شکل برنامه، مدیریت حافظه ای اصلی به شکل مطلوب و حساب شده، ارائه داده های مختلف در نمایشگرهای جداگانه و همچنین امکان ذخیره و بازخوانی اطلاعات جهت تسریع کار، اشاره نمود. علاوه بر این امکان ذخیره سازی کلیه پارامترها، نمودارها و داده های درگیر در محاسبات به صورت فایل های متنی و گرافیکی نیز فراهم شده است.

کلمات کلیدی: توکامک، مرز پلازما، برنامه نویسی، رابط گرافیکی.

۱- مقدمه

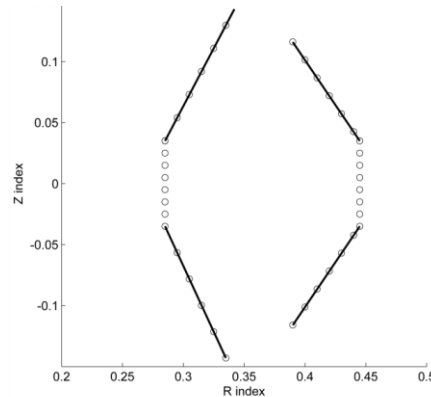
شناخت شکل و موقعیت پلازما در توکامک یک گام ضروری برای طراحی سیستم های کنترل مغناطیسی در این دستگاه است. با استفاده از روش رشته جریان می توان به شکل و موقعیت پلازما در توکامک دست پیدا کرد. این روش با بکارگیری ممان های جریان پلازما به حل معادله-ی گراد-شفرانف منجر می شود [۱-۸]. در این روش، پلازما و کلیه ی پیچیه هایی که در آنها جریان الکتریکی وجود دارد، به صورت رشته هایی از جریان در نظر گرفته می شوند. با محاسبه شار مغناطیسی حاصل از هر یک از این رشته ها می توان به شار مغناطیسی کل پی برد [۲-۳ و ۱۱].

۲- الگوریتم تشخیص مرز پلازما با استفاده از شار مغناطیسی

پس از مشخص شدن شار مغناطیسی در اطراف محدودکننده ها و ناحیه ی مربوط به پلازما تعیین مرز پلازما، مقدور خواهد بود. در واقع مرز پلازما آخرین سطح بسته ی مغناطیسی^۱ است که در ناحیه ی محدودکننده ها قرار دارد. برای مشخص نمودن این سطح بسته می توان با اندازه گیری مقادیر شار در نقاطی نزدیک به محدودکننده ها (نقاط محدود کننده) بزرگترین مقدار آن را مشخص نمود و پس از آن کلیه ی نقاطی که چنین شاری را دارند استخراج نمود. از اتصال منظم این نقاط به همدیگر می توان مرز پلازما را مشخص نمود. تعداد نقاط در نظر گرفته شده برای مشخص نمودن شار در ناحیه ی لیمیتر (محدودکننده) ۳۶۳ عدد^۲ می باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. همچنین الگوریتم کلی مربوط به این محاسبات در شکل (۲) نشان داده شده است.

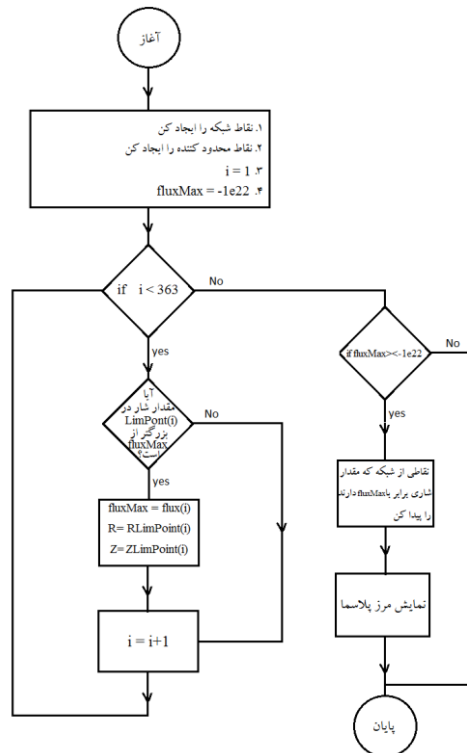
^۱ - Last Closed Magnetic Surface

^۲ - در شکل به یک توزیع ۳۸ عددی از آن اشاره شده است.



شکل ۱- نقاط مرزی برای تعیین شار مغناطیسی به منظور محاسبه مرز پلاسما

پس از ایجاد یک الگوریتم محاسباتی دقیق که توانمندی محاسبه‌ی مرز پلاسما را دارد [۱۱]، ایجاد یک رابط گرافیکی که به کاربران خود امکان ایجاد مدل‌های مختلفی از پلاسما در شرایط گوناگون را بدهد راه گشا است. در همین راستا طراحی نرم افزار $PBRCT^1$ مد نظر قرار گرفت. این نرم-افزار که بیش از ۹ هزار خط کد را در دل خود جای می‌دهد با استفاده از زبان‌های برنامه نویسی C# و Matlab نوشته شده است [۹-۱۰].



شکل ۲- روندنمای مربوط به الگوریتم تشخیص مرز پلاسما با استفاده از شار مغناطیسی

¹- Plasma Boundary Reconstruction Code on Tokamak

۳- پانل شرایط اولیه

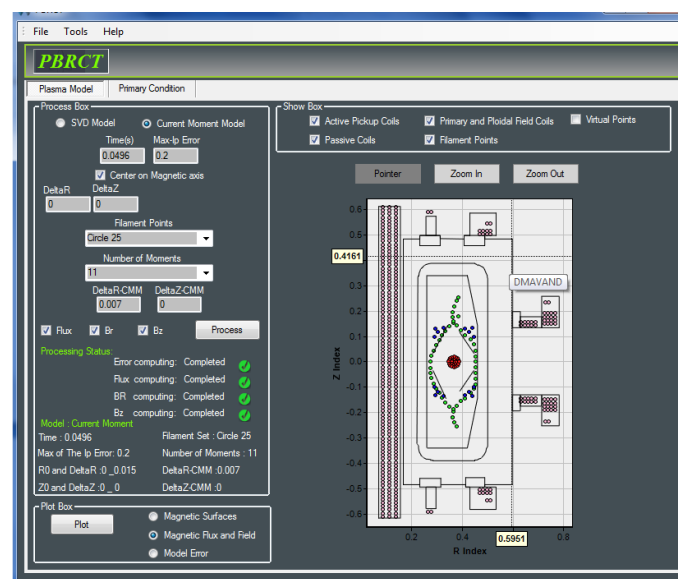
در این پانل می‌توان شناساگرهای مغناطیسی که برای انجام محاسبات مد نظر هستند را انتخاب نمود. با وارد کردن ضرائب کالیبراسیون مربوط به هر یک از این شناساگرها، به همراه ضرائب کالیبراسیون مربوط جریان پلازما، جریان پیچه‌های القائی، جریان پیچه‌های کنترلی و جریان پیچه‌های تعادلی اولین گام مقدماتی جهت انجام محاسبات صورت می‌پذیرد. همچنین از آنجائی که روش دسترسی به داده‌ها در این نرم افزار از روی هارد دیسک می‌باشد، یک مرورگر جهت مشخص کردن دایرکتوری داده‌ها قرار داده شده است. در نهایت با انتخاب شماره شات مورد نظر، فرآیند دسترسی نرم افزار به پایگاه داده‌ها تکمیل می‌شود. بنابراین آنچه که باقی می‌ماند ایجاد یک مدل از پلازما با چیدمانی مناسب از رشته جریان‌ها می‌باشد.

۴- پانل مدل‌سازی

در این پانل امکان انتخاب اجزای مختلف مدل پلازما فراهم شده است. گزینه‌های موجود در این پانل به صورت زیر می‌باشد.

- انتخاب نوع مدل سازی: ۱-مدل تک رشته جریان ۲- مدل چند رشته جریان (مدل ممان جریان)
- انتخاب تعداد و نوع چیدمان دایره‌ای یا بیضوی شکل رشته جریان‌های مربوط به پلازما
- انتخاب تعداد ممان‌ها
- انتخاب نقطه‌ی مرکزی رشته‌ها جریان‌های مربوط به پلازما
- انتخاب نوع داده‌ی خروجی: الف- شار مغناطیسی ب- مقادیر میدان مغناطیسی در یک راستای مشخص ج- خطای مدل سازی

علاوه بر این‌ها یک نمایشگر سطح مقطع دماوند در نظر گرفته شده است تا بتوان به شکل بهتر به مدل سازی پرداخت. تصویر مربوط به این پانل در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳- پنجره‌ی مربوط به پانل مدل‌سازی

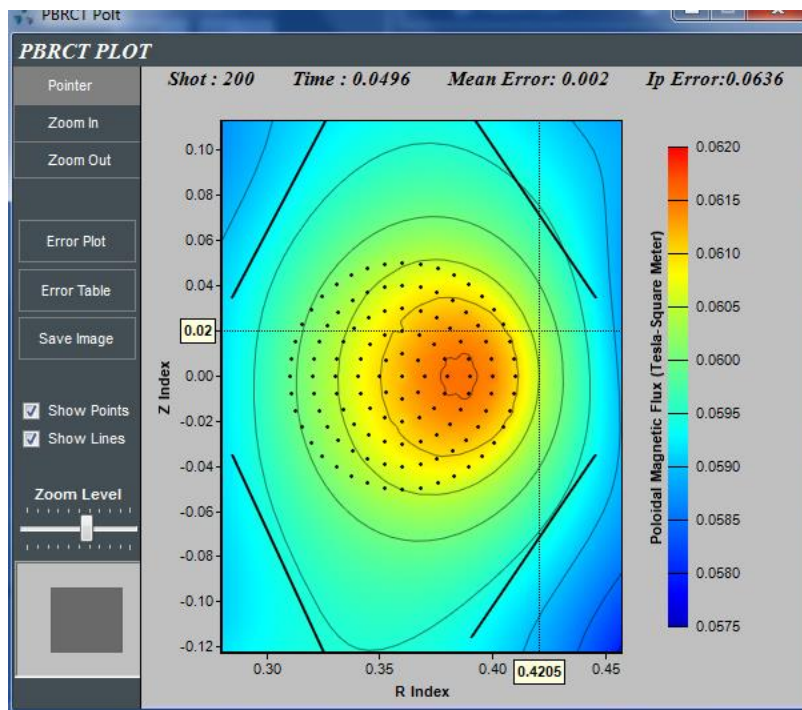
۵- نمایشگرها

۵-۱- نمایشگر سطوح مغناطیسی

مرز پلاسما توسط نمایشگری که ترازهای مربوط به مقادیر شار مغناطیسی را به تصویر می‌کشد ارائه می‌شود. در این نمایشگر گزینه‌های بزرگ نمایی و کوچک نمایی در نظر گرفته شده است تا امکان پیدا کردن مرز پلاسما با خطائی برابر با ۲ میلی‌متر فراهم گردد. از دیگر امکانات این نمایشگر، نمایش خطای نسبی متوسط، شماره‌ی شات و خطای جریان پلاسما می‌باشد. تصویر مربوط به این نمایشگر در شکل ۴ آورده شده است.

۵-۲- نمایشگر میدان مغناطیسی

این نمایشگر مقادیر بردار میدان مغناطیسی در راستای R و Z را به تصویر می‌کشد. همچنین این نمایشگر قادر است علاوه بر نمایش شماره‌ی شات و نمایش خطای نسبی متوسط، به ذخیره‌ی داده‌ها و تصاویر موجود در خود نیز پردازد.

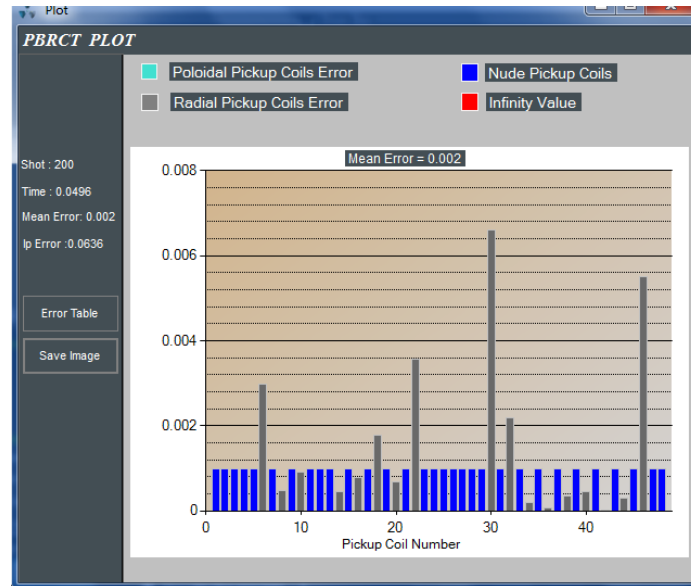


شکل ۴- پنجره‌ی مربوط به نمایشگر سطوح مغناطیسی

۵-۳- نمایشگر خطای محاسبات

یکی از مهمترین پارامترها در یک مدل‌سازی اندازه‌گیری خطای مدل نسبت به مقادیر بدست آمده از یک اندازه‌گیری واقعی است. یکی دیگر از نمایشگرهایی که در این نرم‌افزار در نظر گرفته شده است نمایشگر خطای نسبی می‌باشد [۱۱]. در این نمایشگر خطای نسبی مربوط به هر شناساگرها که در مدل استفاده شده‌اند ارائه خواهد شد و این خطا به صورت ستونی نمایش داده می‌شود. علاوه بر این یک جدول که کلیه‌ی شرایط

ابتدائی و همچنین چیدمان مدل پلاسما و خطای ناشی از مدل را نشان می‌دهد در این نمایشگر در نظر گرفته شده است. این جدول به صورت یک فایل متنی نیز قابل ذخیره می‌باشد. تصویر مربوط به این نمایشگر در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵- پنجره‌ی مربوط به نمایشگر خطای محاسبات

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت توسعه نرم‌افزارهای محاسباتی و شبیه‌سازی در حوزه‌ی تحقیقات همجوشی هسته‌ای کشور طراحی نرم‌افزار PBRCT به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها مد نظر قرار گرفت. شیوه‌ی به‌کارگیری الگوریتم‌ها و توابع محاسباتی در این نرم‌افزار می‌تواند زمینه را برای طراحی نرم‌افزارهای جامع‌تر در زمینه‌های مختلف تحقیقات همجوشی هسته‌ای فراهم آورد. از جمله فعالیت‌هایی که در ادامه‌ی این پژوهش می‌تواند صورت پذیرد به شرح زیر می‌باشد.

- طراحی سیستم‌های کنترلی که می‌تواند با استفاده از داده‌های خروجی این نرم‌افزار انجام پذیرد.
- طراحی نرم‌افزارهای کنترل مرکزی و تحلیل داده‌ها برای دستگاه‌هایی همچون توکامک‌ها، راکتورها و شتابدهنده‌های موجود در کشور و همچنین طراحی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به روش مونت کارلو که این چنین پژوهش‌ها زمینه‌ی رسیدن به آن را فراهم می‌کنند.

سپاسگذاری

جا دارد از حمایت‌های بیدریغ تیم توکامک دماوند پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته‌ای در انجام این پژوهش تشکر بنمائیم.

مراجع

- [۱] M.Ariola , A.Pironti, "Magnetic Control of Tokamak Plasmas," Springer, first edition ۲۰۰۷.
- [۲] B.J. Braams, "The interpretation of tokamak magnetic diagnostics," Plasma Phys. Controlled Fusion ۳۳,۷۱۵, ۱۹۹۱.
- [۳] L. Spagnoli, "Algoritmi di stima in real-time della topologia magnetica per il controllo di plasma nelle macchine da fusione," M.S. Research, the University of Rome Tor Vergata, ۲۰۰۷.
- [۴] B.Ph. Van Milligen, "Exact relations between multipole moments of the flux and moments of the toroidal current density in tokamaks," Nucl. Fusion, ۳۰, ۱۵۷, ۱۹۹۰.
- [۵] A. Cenedese; F. Sartori; M. Macuglia, "Development of fixed-position filamentary plasma model based on the current moment description", Fusion Engineering and Design, Volume: ۱۵۱ Issue: ۶, ۴۸۴ - ۴۸۷, ۲۰۰۴.
- [۶] A. Wootton, "Measurement of plasma shape in a tokamak", Nuclear Fusion , Vol.۱۹, No.۷, ۱۹۷۹
- [۷] Yu. K. Kuznetsov, I. C. Nascimento, R. M. O. Galvao, IV. Yasin, "Plasma boundary determination in ITER by the optimized current filament method " , *Nucl. Fusion* ۳۸, p.۱۸۲۹, ۱۹۹۸.
- [۸] Bau III, David , "Numerical linear algebra, " Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, ۱۹۹۷.
- [۹] C. Nagel, B. Evjen, J. Glynn, K. Watson, M. Skinner, "Professional C# ۴ and .NET ۴ ," Wiley Publishing, first edition ۲۰۱۰.
- [۱۰] J. Richter, "CLR via C# ," Microsoft press, third edition ۲۰۱۰.

[۱۱] رقدیری، "بررسی روش رشته جریان در توکامک و تعیین شار مغناطیسی در توکامک دماوند،" پایانامه کارشناسی ارشد،

دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، مهر ۱۳۹۱.