

بررسی پایداری سیستم همجوشی مخلوط سه گاز D-T-H به روش هورویتز

محمد رضا اسکندری و سعید دیلمی

بخش فیزیک، دانشگاه شیراز، شیراز ۷۱۴۵۴

(دریافت مقاله: ۷۷/۱۱/۲۸ دریافت نسخه نهایی: ۷۸/۱۱/۱۰)

چکیده

همجوشی هسته‌ای به روش‌های متفاوتی مورد مطالعه است یکی از این روشها همجوشی با کاتالیزور میونی یا همجوشی سرد است که تحقیقات گسترده‌ای برای اقتصادی کردن این روش همجوشی در حال انجام است. مطالعات اخیر نشان داده است که استفاده از مخلوط سه گاز دوتریوم - تریتیوم، هیدروژن، با دوتریوم و تریتیوم رقیق به جای مخلوط دوگاز دوتریوم - تریتیوم باعث افزایش ضریب تکثیر میونی و بهره انرژی دستگاه می‌شود. این افزایش بستگی به پارامترهای فیزیکی مختلف دستگاه از جمله چگالی و غلظت اجزاء شرکت کننده در واکنش دارد. در مطالعات نظری قبلی معادلات دینامیکی غیرخطی مربوطه را در شرایط پایا حل کرده و ضریب تکثیر میونی را برای مخلوط فوق به دست آورده نشان داده‌ایم که جوابهای حاصله با جوابهای تجربی مرکز PSI تطابق بسیار خوبی دارد و ضریب تکثیر میونی در شاخه $dt\mu$ به مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌رسد. در مطالعات فوق دستگاه در حالت پایا در نظر گرفته شد که البته بادر نظر گرفتن مصرف کم ذرات، در قبال چگالی ذره‌ای بزرگ آنها، فرض معقولی است. اما دستگاه‌هایی که مصرف و تزریق همزمان دارند بررسی پایداری حالت پایای آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، پایداری دستگاه همجوشی سه گاز D-T-H با کاتالیزور میونی پیشنهادی مورد مطالعه قرار گرفته است و برای این منظور از روش هورویتز استفاده کرده‌ایم. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که دستگاه همجوشی، در چگالیها و غلظتهای متفاوت پایدار است و روش ریاضی اعمال شده در این مقاله دارای مزیت سادگی در این بررسی است.

۱. مقدمه

(ب) میون منفی در ترازهای اتمی تسخیر و اتمهای در حالت پایه (Is) تشکیل می‌شوند.
(ج) اتمهای میونی تشکیل شده به راحتی به یکدیگر نزدیک می‌شوند و در برخورد با یکدیگر و یونها، مولکولهای میونی نظیر $(dd\mu)$ و $(dt\mu)$ را به وجود می‌آورند. مولکولهای تشکیل شده می‌توانند به حالت پایه مولکولی برگردند.

وقتی یک میون منفی، $\bar{\mu}$ ، با انرژی زیاد وارد محیط یونی هیدروژن فشرده می‌شود (مثل یک محیط با چگالی هیدروژن $\sim 10^{22}$ atoms/cc) $(LHD=4/25)$ و اکنشهای زنجیره‌ای زیر می‌تواند اتفاق افتد:
(الف) میونهای منفی پرنرژی کند می‌شوند.

وسمن تشکیل تشدید مولکولها را در حالت‌های بستگی ضعیف مطرح کرد [۱۰]. به هر حال آزمایش زلیوف، مقاله وسمن و محاسبات بعدی [۱۱ و ۱۲] و اندازه‌گیریهای تجربی [۱۳ و ۱۴]، مجدداً مطالعات همجوشی کاتالیزور میونی را تقویت کردند. مشاهده تجربی تشکیل تشدید مولکولها در تأیید نظریه‌های مطرح شده گزارش شدند [۱۵-۱۷]. در سال ۱۹۸۶، آزمایش انجام شده در آزمایشگاه ملی لوس‌آلاموس (LANL) حدود ۱۵۰ همجوشی در ازای یک میون را (ضریب تکثیر میونی ۱۵۰) نشان داد [۱۷ و ۱۸] در واقع از همین سال برای فهم بهتر همجوشی کاتالیزور میونی نظریه‌های مختلفی ارائه شده است [۱۹-۲۹]. از این میان بیشترین توجه در انجام تحقیق جهت افزایش چرخه میون و یا توجه بیشتر برای مطالعه فرایندهایی بوده است که بتوانند همجوشی کاتالیزور میونی را اقتصادی نمایند.

مطالعات انجام شده را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

(الف) مطالعه و بررسی پارامترهای فیزیکی و شرایط مختلف که بتوانند ضریب چسبندگی میون را کاهش و در نتیجه چرخه میون را افزایش دهند [۲۳-۲۹].

(ب) پیشنهاد استفاده از دستگاه‌های دو گانه شکافت و همجوشی که در حقیقت انرژی را افزایش داده و می‌تواند دستگاه همجوشی کاتالیزور میونی را اقتصادی کند [۳۰-۳۵].

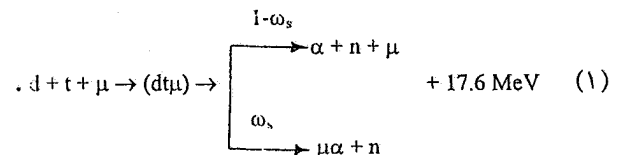
(ج) تحقیقات مختلف در مطالعه روشهایی جهت کاهش هزینه انرژی تولید پایون که با تبدیل آن به میون در مبدل، در واکنشهای همجوشی استفاده می‌گردد. کاهش هزینه انرژی تولید میون نقش بسیار مهمی در اقتصادی کردن همجوشی کاتالیزور میونی دارد [۳۶-۴۰].

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از مخلوط سه گاز هیدروژن - دوتریوم - تریتیوم، H-D-T، که نسبت به دوتریوم و تریتیوم رقیق شده است ضریب تکثیر میونی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد [۴۱ و ۴۲]. در مطالعات نظری اخیر این دستگاه‌ها (شکل ۱) برای به دست آوردن ضریب تکثیر میونی، دوازده معادله غیرخطی به هم جفت شده را در حالت پایا حل کردیم جوابهای حاصله با جوابهای تجربی حاصل از

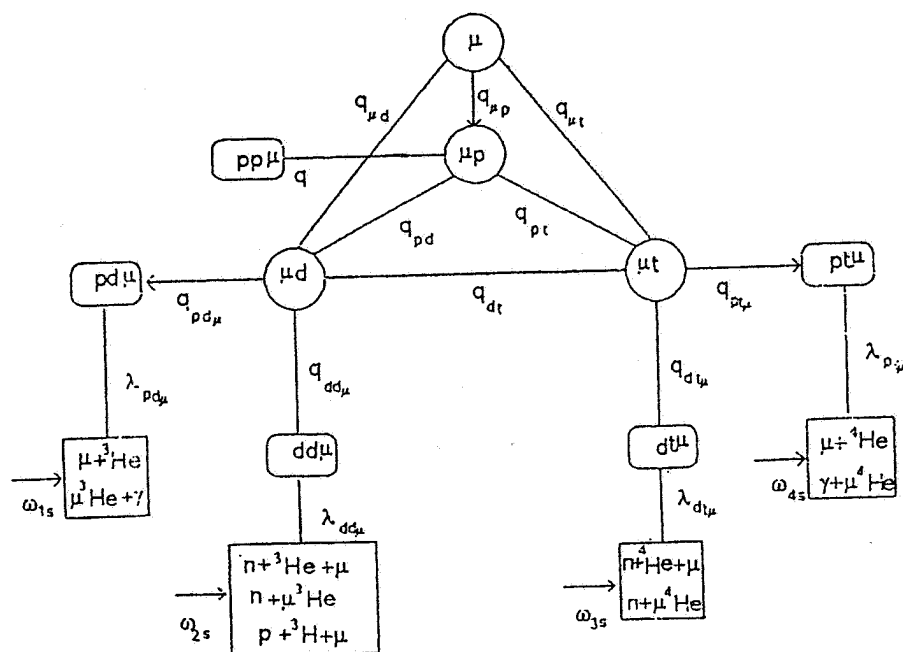
(د) همجوشی هسته‌ای ایزوتوپهای هیدروژن که توسط میونهای منفی در نزدیک هم نگه داشته شده‌اند.

(ه) بالاخره رها شدن یا تسخیر میون منفی، $\bar{\mu}$ ، توسط تولیدات همجوشی هسته‌ای (که با ضریب چسبندگی میون تعریف می‌شود).

بنابراین می‌توان گفت که میون باعث می‌شود تا هسته‌هایی مثل دوتریوم و تریتیوم به حجم خیلی کوچکی فشرده شوند و شرایط برای همجوشی دو هسته دوتریوم و تریتیوم مهیا شود. واکنش انجام شده را به شکل ساده زیر می‌توان توصیف کرد،



نکته جالب توجه در این نوع همجوشی آزاد شدن دوباره میون است. اگر عمر میون در مقایسه با طول زمان فرایند فوق بیشتر باشد، آنگاه میون می‌تواند در طول عمر خود به عنوان کاتالیزور در چندین واکنش شرکت کند. ایده اول که میونهای منفی می‌توانند در همجوشی پروتونها و دوترونها (p-d) شرکت کنند اولین بار توسط فرانک [۱] داده شد. همجوشی دوتریوم - تریتیوم با کاتالیزور میون نیز توسط ساخاروف و لیدف [۲] پیشنهاد و توسط زلدوویچ [۳] پیگیری و بالاخره توسط جکسون [۴] مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. اولین آزمایش تجربی همجوشی $pd\bar{\mu}$ توسط الوارز [۵] و دوستانش در برکلی انجام شد. به طوری که او در اوایل فکر می‌کرد که مشکل انرژی و منبع آن برای بشر با این پیشرفت فیزیک حل شده است [۶]. اما بعداً مطالعات در این زمینه در انگلستان [۷] و روسیه [۸] به صورت تجربی و نظری دنبال شد و نشان دادند که در واقع یک میون در طول عمر خود نمی‌تواند بیش از چند همجوشی را همراهی کند و حتی خیلی از آنها به این نتیجه رسیدند که تولید انرژی از طریق همجوشی کاتالیزور میونی روش کارآمدی نیست. اما این نتیجه‌گیری آنها بعد از نتایج حاصل توسط زلیوف و دوستانش مورد تردید واقع شد به طوری که آنها نشان دادند که آهنگ تشکیل مولکولهای d-d شدیداً به دما بستگی دارد [۹] و



شکل ۱. شبکه واکنش جامع در محیط حاوی مخلوط سه گاز H-T-D [۴۳ و ۴۵].

توصیف دینامیکی دستگاه و معادلات دینامیکی

دستگاه مورد مطالعه، دستگاه همجوشی در مخلوط سه گاز D-T-H با استفاده از کاتالیزور میونی است. شبکه واکنشهای امکانپذیر برای این دستگاه در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به اینکه بعضی از واکنشهای انجامپذیر با احتمال بسیار کم واقع می شوند، در ارائه این شبکه جامع سعی شده است واکنشهای فوق در نظر گرفته نشوند. منظور کردن این واکنشها در محاسبات تأثیر محسوسی نشان نمی دهد، ولی در کل، پیچیدگی معادلات را بیشتر می کند [۴۳ و ۴۵].

با توجه به شکل (۱) معادلات دینامیکی حاکم بر دستگاه، در شاخه اصلی $dt\mu$ را می نویسیم [۴۳ و ۴۵]:

$$\begin{aligned} \frac{dN_{\mu}}{dt} = & S_{\mu} - \lambda_{\mu} N_{\mu} - q_{\mu t} N_{\mu} C_t \phi N_{\cdot} \\ & - q_{\mu d} N_{\mu} C_d \phi N_{\cdot} - q_{\mu p} N_{\mu} C_p \phi N_{\cdot} \\ & + \lambda_{dt\mu} N_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_{\mu p}}{dt} = & q_{\mu p} N_{\mu} C_p \phi N_{\cdot} - q_{pd} N_{\mu p} C_d \phi N_{\cdot} \\ & - q_{pt} N_{\mu p} C_t \phi N_{\cdot} - \lambda_{\mu} N_{\mu p} \end{aligned} \quad (3)$$

آزمایشگاه PSI تطابق بسیار خوبی داشت [۴۳].

در این بررسی علت پایداری حالت پایا، با توجه به اینکه میزان مصرف در مقابل چگالیهای ذره ای موجود کم بودند، را بیان کردیم. ولی به طور کلی بررسی پایداری حالت پایای منظور شده یک بررسی ضروری است، زیرا در بعضی از دستگاههایی که ورود و خروج همزمان با مصرف انجام می شود، ناپایداریهایی در حالت پایای آنها گزارش شده است [۴۴].

اخیراً بررسی پایداری دستگاه پیشنهادی با حل عددی معادلات اشاره شده انجام، و برای حالت های مختلف چگالی ذره ای پایداری حالت پایا ملاحظه شده است [۴۵]. نظر به اینکه روش استفاده شده در این بررسی پیچیده و یک روش عددی است، در تحقیق فعلی سعی می کنیم یک روش ساده تر تحلیلی را معرفی کنیم. لذا بررسی بر روی شاخه اصلی $dt\mu$ خواهد بود. در قسمتهای بعدی مقاله، اول دینامیک دستگاه مورد مطالعه را توصیف می کنیم. سپس با انتخاب معادلات مربوط به شاخه $dt\mu$ پایداری حالت پایا را به روش تحلیلی هورویتز برای چگالیها و غلظتهای مختلف ذره ای مورد تحلیل قرار خواهیم داد.

تحلیل پایداری

همان طور که اشاره شد لازم است بررسی شود که آیا نقاط ثابت حاصل از شرایط پایا یعنی،

$$X^* = \{N_{\mu}^*, N_{\mu p}^*, N_{\mu d}^*, N_{\mu t}^*, N_{dt\mu}^*\} \quad (۸)$$

نقاط ثابت پایدار هستند، یا در چه غلظتی از پروتون، دوتریوم، تریتیوم، C_p و C_d و C_t ، نقاط ثابت پایدار هستند. این بدین معنی است که اگر اغتشاش جزئی در دستگاه حاصل شود دستگاه به حالت پایا برگردد بلافاصله بعد از تعیین حالت‌های پایدار، ضریب تکثیر میونی X_{μ} ، برای مخلوط‌های مختلف گازهای هیدروژن - دوتریوم - تریتیوم H-D-T تعیین خواهد شد. برای این منظور یک اغتشاش کوچک در نقاط ثابت حالت پایا ایجاد می‌کنیم و سپس بررسی می‌کنیم که آیا دستگاه مجدداً به حالت پایا یعنی نقاط ثابت برمی‌گردد؟ اگر چنین شد دستگاه در حالت پایا، پایدار است این بررسی برای چگالی‌های مختلف ذره‌ای و غلظت‌های مختلف پروتون، دوتریوم و تریتیوم، C_p و C_d و C_t انجام شده است. اغتشاش به اندازه کافی کوچک δX را به صورت زیر در متغیر X معرفی می‌کنیم،

$$X = X^* + \delta X \quad (۹)$$

که δX بایستی شرط زیر را برآورده کند،

$$d(\delta X)/dt \approx J(\delta X) \quad (۱۰)$$

و ژاکوبی را با معادله زیر برای سیستم دینامیکی مفروض تشکیل می‌دهیم [۴۶]:

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & J_{15} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & J_{25} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} & J_{35} \\ J_{41} & J_{42} & J_{43} & J_{44} & J_{45} \\ J_{51} & J_{52} & J_{53} & J_{54} & J_{55} \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

$$dN_{\mu p}/dt = q_{\mu p} N_{\mu} C_p \phi N_0 - q_{pd} N_{\mu p} C_d \phi N_0 - q_{pt} N_{\mu p} C_t \phi N_0 - \lambda_{\mu} N_{\mu p} \quad (۳)$$

$$dN_{\mu d}/dt = q_{\mu d} N_{\mu} C_d \phi N_0 + q_{pd} N_{\mu p} C_d \phi N_0 - \lambda_{\mu} N_{\mu d} - q_{dt} N_{\mu d} C_t \phi N_0 \quad (۴)$$

... (۵)

$$dN_{dt\mu}/dt = q_{dt\mu} N_{\mu t} C_d \phi N_0 - \lambda_{dt\mu} N_{dt\mu} - \lambda_{\mu} N_{dt\mu} \quad (۶)$$

در معادلات فوق C_p ، C_d ، C_t به ترتیب کسر غلظت‌های مربوط به پروتون، دوتریوم و تریتیوم است که $C_p + C_d + C_t = 1$ می‌باشد. ϕ ضریبی از چگالی هیدروژن مایع و λ_{μ} و $\lambda_{dt\mu}$ به ترتیب ثابت‌های واپاشی میونها و مولکول‌های $dt\mu$ هستند. $q_{dt\mu}$ و $q_{\mu d}$ و ... آهنگ تشکیل اتم‌های $d\mu$ و مولکول‌های $dt\mu$... می‌باشند. توصیف فیزیکی معادلات دینامیکی فوق و چگونگی ایجاد معادلات، به تفصیل در مرجع ۴۳ آمده است. چون به دستگاه در حالت پایا توجه داریم طرف چپ معادلات فوق مساوی صفر است. با مساوی صفر قرار دادن طرف چپ معادلات فوق، نقاط ثابت $X^* = \{N_{\mu}^*, N_{\mu p}^*, N_{\mu d}^*, N_{\mu t}^*, N_{dt\mu}^*\}$ در فضای حالت به دست می‌آیند. برای تعیین این نقاط در فضای حالت از شرط زیر استفاده می‌کنیم: [۴۳ و ۴۵]:

$$dN_i/dt = 0 \quad i = \mu, \mu p, \mu d, \mu t, dt\mu \quad (۷)$$

موضوع مورد علاقه ما در این بررسی مطالعه پایداری نقاط ثابت حالت پایا است و برای این منظور پایداری دستگاه پیشنهادی را که دارای شرایط ورود و مصرف سوخت است برای چگالی‌های مختلف و غلظت‌های مختلف پروتون - دوتریوم و تریتیوم مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

عناصر ماتریس با رابطه زیر تعریف می‌شوند:

$$J_{ij} = \left[\frac{\partial f_i}{\partial X_j} \right]_{X=X^*} \quad (12)$$

که f_i تابع i ام در سمت راست معادلات دینامیکی (۲) تا (۶) می‌باشد. در حد تغییرات به اندازه کافی کوچک δX معادله (۱۰) یک معادله دقیق است و برای چرخه اصلی dt دارای جواب زیر خواهد بود،

$$\delta X_i = \sum_{j=1}^5 a_{ij} \exp(\lambda_j t) \quad (13)$$

که a_{ij} ثابتهای وابسته به ژاکوبی و شرایط اولیه مسیر حول X^* و λ_j ها (۵ و ... و ۱) ویژه مقادیر ماتریس J می‌باشند. برای به دست آوردن این ویژه مقادیر لازم است که معادله مشخصه ماتریس ژاکوبی را به دست آوریم،

$$\det (J - \lambda I) = 0 \quad (14)$$

که یک معادله مشخصه مرتبه پنج می‌باشد. λ_j ها در حالت کلی مختلط هم می‌توانند باشند ($\lambda_j = \text{Re} \lambda_j + i \text{Im} \lambda_j$). اما از آنجا که معادله مشخصه حقیقی است هر ریشه مختلط همیشه به صورت زوج مزدوج ظاهر می‌شود. در مطالعه‌ای که اخیراً انجام گرفته سعی شده است که دوازده معادله خطی جفت شده به صورت عددی حل شوند و همین کار باعث شده است تا یک محاسبات بسیار طولانی انجام شود تا مقادیر λ_j ها تعیین شوند [۴۵]. پایداری دستگاه دینامیکی موردنظر از تعیین علامت قسمت حقیقی ویژه مقادیر λ_j ها نیز مشخص می‌شود. دستگاه دینامیکی موردنظر پایدار است اگر قسمت حقیقی ویژه مقادیر λ_j همگی منفی باشند. در این مقاله سعی می‌شود با ارائه یک روش

ریاضی علامت جوابهای معادله مشخصه را با روش ساده‌تری تعیین کنیم این کار را با اعمال و به کارگیری روش ریاضی هورویتز ساده‌تر کرده‌ایم [۴۶ و ۴۷].
برای دستگاه با پنج متغیر در فضای حالت، معادله مشخصه (۱۴) را به صورت کلی زیر می‌نویسیم،

$$a_5 \lambda^5 + a_4 \lambda^4 + a_3 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_1 \lambda + a_0 = 0 \quad (15)$$

ویژه مقادیر λ_j همگی دارای مقادیر منفی حقیقی هستند اگر و فقط اگر شرایط هورویتز بین ضرائب معادله فوق برقرار باشند. این شرایط عبارتند از: شرط اول،

$$a_1/a_0 > 0, a_2/a_0 > 0, a_3/a_0 > 0, a_4/a_0 > 0, a_5/a_0 > 0 \quad (16)$$

و شرط دوم،

$$D_J > 0 \quad ; \quad J = 1, \dots, 5 \quad (17)$$

که D_J ها، دترمینانهای هورویتز هستند. با توجه به ضرائب معادله مشخصه (۱۴) D_J ها را به صورت زیر می‌نویسیم،

$$D_J = \det \begin{bmatrix} a_1 & a_0 & \dots & a_{2j-1} \\ a_0 & a_2 & \dots & a_{2j-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_j \end{bmatrix} \quad (18)$$

در ماتریس فوق داریم،

$$a_s = 0 \quad ; \quad S > n \quad (19)$$

در رابطه فوق n مرتبه کثیرال جمله‌ای رابطه (۱۵) است. اکنون با بررسی شرایط هورویتز بین ضرائب معادله مشخصه (۱۵)، پایداری حالت پایایی دستگاه را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. برای

این بررسی نخست باید ماتریس ژاکوبی را تشکیل دهیم طبق رابطه (۱۲) برای عناصر این ماتریس داریم،

$$J_{11} = \partial f / \partial N_{\mu} \quad | \quad X=X^* = -\lambda_{\mu} - q_{\mu t} N_t - q_{\mu d} N_d - q_{\mu p} N_p = -\lambda_{\mu} - \gamma \quad (20)$$

که ساده سازی زیر را در رابطه فوق انجام داده ایم،

$$q_{\mu t} N_t + q_{\mu d} N_d + q_{\mu p} N_p = \gamma \quad (21)$$

به طور مشابه، با نوشتن عناصر دیگر ماتریس ژاکوبی می توانیم درمیانان رابطه (۱۴) را تشکیل دهیم، درمیانان مطلوب را به صورت زیر می نویسیم،

$$\begin{pmatrix} -\lambda_{\mu} - \gamma - \lambda & 0 & 0 & 0 & \lambda_{dt\mu}(1 - \omega_{rs}) \\ q_{\mu p} N_p & -q_{pd} N_d - q_{pt} N_t - \lambda_{\mu} - \lambda & 0 & 0 & 0 \\ q_{pd} N_d & q_{pd} N_d & -q_{pt} N_t - \lambda_{\mu} - \lambda & 0 & 0 \\ q_{\mu t} N_t & q_{pt} N_t & q_{dt} N_t & -q_{dt\mu} N_t - \lambda_{\mu} - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{dt\mu} N_d & \lambda_{\mu} - \lambda_{dt\mu} - \lambda \end{pmatrix} = 0 \quad (22)$$

پس از بسط درمیانان فوق و ساده کردن آن، عبارتی به صورت رابطه (۱۵) به دست خواهیم آورد که ضرایب این رابطه به صورت زیر تعریف می شوند،

$$a_{\delta} = [\quad (23)$$

$$a_{\delta} = [(\lambda_{\mu} + \gamma) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu}) (q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) \times (-1)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{\mu p} N_p) (q_{pd} N_d) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_t)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{\mu p} N_p) (q_{pt} N_t) (q_{dt\mu} N_d) (q_{dt} N_t)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{\mu p} N_p) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_d) (q_{dt} N_t)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_d) (q_{dt} N_t)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt\mu} N_t) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_d)] \quad (24)$$

برای مقدار a_{γ} داریم،

$$a_{\gamma} = [(\lambda_{\mu} + \gamma) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu})] [(q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu}) (q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] + [(\lambda_{\mu} + \gamma + q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu}) (q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu})] [-1] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{\mu p} N_p) (q_{pt} N_t) (q_{dt\mu} N_d)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{\mu p} N_p) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_d)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_d)] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) (q_{dt\mu} N_t) (q_{dt} N_t) (q_{dt\mu} N_d)] \quad (25)$$

همچنین برای a_{β} به دست می آوریم،

$$a_{\beta} = [[(\lambda_{\mu} + \gamma) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu})] [(q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] + (\lambda_{\mu} + \gamma + q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) [(q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] + (\lambda_{\mu} + \gamma + q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) [(q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] + (\lambda_{\mu} + \gamma + q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) [(q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})]] [-1] + [\lambda_{dt\mu} (1 - \omega_{rs}) (q_{\mu p} N_p) (q_{dt\mu} N_d)] \quad (26)$$

و برای مقدار a_{α} داریم،

$$a_{\alpha} = [[(\lambda_{\mu} + \gamma) (q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu})] + (\lambda_{\mu} + \gamma + q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) \times [(q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] + (q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] \times (-1) \quad (27)$$

ضریب a_1 را به صورت زیر به دست می آوریم،

$$a_1 = [(\lambda_{\mu} + \gamma + q_{pd} N_d + q_{pt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt} N_t + \lambda_{\mu}) + (q_{dt\mu} N_t + \lambda_{\mu}) + (\lambda_{\mu} + \lambda_{dt\mu})] \times (-1) \quad (28)$$

و بالاخره برای مقدار a_0 داریم،

$$a_0 = -1 \quad (28)$$

بررسی عددی شرایط پایداری در غلظت‌های مختلف

اکنون ضرایب معادله مشخصه (۱۵) معلوم شده اند. این ضرایب براساس پارامترهای همجوشی مخلوط سه گاز D-T-H با کاتالیزور میونی به دست آمدند. مقادیر عددی پارامترهای مورد لزوم در محاسبات عددی در جدول ۱ داده شده است. برای بررسی پایداری دستگاه در حالت‌های مختلف، ضرایب و پارامترهای محاسبه شده در قسمت پیشین برای () a_{α} و درمیانانها () D ها به صورت یک برنامه کامپیوتری در آورده شد تا با تغییر شرایط فیزیکی محیط، محاسبات با کامپیوتر سریعتر انجام شود. برای پارامترهای طراحی مختلف نظیر غلظت‌های مختلف هیدروژن - دوتریوم - تریتیوم، C_p و C_d و C_t و چگالی

جدول ۱. پارامترهای مربوط به فرآیند $d+p+t+\mu$ در محیط D/T/H در دمای ۳۰۰ k، [۴۵ و ۴۳]

PROCESS	PARAMETER	VALUE
MOUN DECAY	λ_{μ}	$0/455E6 s^{-1}$
MOUN D-T FUSION RATE	$\lambda_{\mu dt}$	$0/11E13 s^{-1}$
MOUN P-T FUSION RATE	$\lambda_{\mu pt}$	$0/15E6 s^{-1}$
MOUN D-D FUSION RATE	$\lambda_{\mu dd}$	$0/31E9 s^{-1}$
MOUN P-D FUSION RATE	$\lambda_{\mu pd}$	$0/3E6 s^{-1}$
MOUN - D ATOM FORMATION	$q_{\mu d}$	$0/188E-8 CM^{+r} s^{-1}$
MUON-P ATOM FORMATION	$q_{\mu p}$	$0/188E-8 CM^{+r} s^{-1}$
MUON - T ATOM FORMATION	$q_{\mu t}$	$0/188E-8 CM^{+r} s^{-1}$
MUON-D-T MOLECULE FORMATION	$q_{\mu dt}$	$0/470E-12 CM^{+r} s^{-1}$
MUON-D-D MOLECULE FORMATION	$q_{\mu dd}$	$0/164E-14 CM^{+r} s^{-1}$
MUON-P-D MOLECULE FORMATION	$q_{\mu pd}$	$0/263E-14 CM^{+r} s^{-1}$
MUON-P-T MOLECULE FORMATION	$q_{\mu pt}$	$0/305E-14 CM^{+r} s^{-1}$
MUON-P-P MOLECULE FORMATION	$q_{\mu pp}$	$0/103E-14 CM^{+r} s^{-1}$
ISOTOPE EXCHANGE DT	q_{dt}	$0/164E-12 CM^{+r} s^{-1}$
ISOTOPE EXCHANGE PT	q_{pt}	$0/258E-11 CM^{+r} s^{-1}$
ISOTOPE EXCHANGE PD	q_{pd}	$0/68E-11 CM^{+r} s^{-1}$
MUON P-D STICKING PROBABILITY	ω_{1s}	$0/85$
MUON D-D STICKING PROBABILITY	ω_{2s}	$0/12$
MUON D-T STICKING PROBABILITY	ω_{3s}	$0/006$
MUON P-T STICKING PROBABILITY	ω_{4s}	$0/095$
CONCENTRATION OF PROTONIUM	C_p	$0/8$
CONCENTRATION OF DEUTERIUM	C_d	$0/1$
CONCENTRATION OF TRITIUM	C_t	$0/1$
LIQUID HYDROGEN DENSITY FACTOR	ϕ	$0/05-1$
PROBAILITY	P	$0/42$

جدول ۲. ضرائب هورویتز (a) در شرایط $C_p = 0/8$ و $C_d = C_t = 0/1$ در چگالیهای مختلف نسبت به چگالی هیدروژن مایع.

φ	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0/1	-1/000 e+000	-9/03 e+12	-8/76 e+24	-3/67 e+34	-7/19 e+42	-6/11 e+48
0/2	-1/000 e+000	-1/69 e+13	-1/75 e+25	-1/46 e+35	-5/74 e+43	-7/16 e+49
0/3	-1/000 e+000	-2/49 e+13	-2/64 e+25	-3/30 e+35	-1/93 e+44	-3/18 e+50
0/4	-1/000 e+000	-3/28 e+13	-3/54 e+25	-5/87 e+35	-4/58 e+44	-9/36 e+50
0/5	-1/000 e+000	-4/07 e+13	-4/44 e+25	-9/18 e+35	-8/95 e+44	-2/18 e+51
0/6	-1/000 e+000	-4/87 e+13	-5/35 e+25	-1/32 e+36	-1/54 e+45	-4/39 e+51
0/7	-1/000 e+000	-5/66 e+13	-6/27 e+25	-1/80 e+36	-2/45 e+45	-7/94 e+51
0/8	-1/000 e+000	-6/46 e+13	-7/19 e+25	-2/35 e+36	-3/66 e+45	-1/33 e+52
0/9	-1/000 e+000	-7/25 e+13	-8/13 e+25	-2/97 e+36	-5/22 e+45	-2/10 e+52
1/0	-1/000 e+000	-8/04 e+13	-9/06 e+25	-3/67 e+36	-7/16 e+45	-3/17 e+52

صورت پیوسته سوخت در آن تغذیه و مصرف می شود یک دستگاه است که دارای شرایط پایداری حول نقاط ثابت حاصل از حالت پایا است جوابهای حاصله با جوابهای روش عددی حل معادلات جفت شده تطابق دارد [۴۵] و مزیت روش ارائه شده در این مقاله سادگی انجام محاسبات و استفاده از روش تحلیلی است. در جدول ارائه شده ۲ تا ۵ مقادیر a_0 تا a_5 ضرایب کثیرالجزءه ای معادله مشخصه (۱۵) و مقادیر d_1 تا d_5 مقادیر درتمینهای هورویتز می باشند. φ نسبت چگالی ذره ای به چگالی هیدروژن مایع است و $\varphi = 1$ برابر با چگالی هیدروژن مایع $10^{22} \times 4/25$ ذره بر سانتی متر مکعب است. غلظت یونی پروتون، دوتریوم و تریتیوم را با C_p و C_d و C_t نشان داده ایم. ضرایب $\chi_{\mu dt}$ ضریب تکثیر میونی در شاخه اصلی $dt\mu$ است. ضرایب حاصله در همه حالات انتخابی شرایط هورویتز را دارا هستند و نشان می دهند که دستگاه پیشنهادی در همه حالت های پایا، پایدار است و بهترین حالت تکثیر میونی در $C_d = C_t = 0/1$ و $C_p = 0/8$ اتفاق می افتد. برای همین منظور در این غلظتها، مقدار چگالی ذره ای از $0/1$ تا مقدار ۱ تغییر

هیدروژنی، $1, 0/5, \dots, \varphi$ ، مقادیر محاسبه شده برای $a(\varphi)$ ها و درتمینها، $D(\varphi)$ ها و همچنین مقدار ضریب تکثیر میونی $\chi_{\mu dt}$ در همان حالت محاسبه شده و نتایج حاصله در جداول ۲ تا ۵ آورده شده است. نتایج ارائه شده در جداول فوق نشان می دهد که ضرایب حاصل در همه حالتها شرایط حالت پایداری روش هورویتز را دارا هستند و (φ) ها در همه شرایط دارای جوابهای منفی هستند. همچنین نشان داده شده است که ضریب تکثیر میونی در شاخه اصلی $dt\mu$ در مخلوط سه گاز D-T-H در شرایطی که نسبت به مخلوط دوتریوم - تریتیوم رقیق باشد نسبت به مخلوط دو گاز بیشتر شده است و مهمتر اینکه این افزایش چرخه میونها شدیداً به غلظت ذرات وابسته است. بیشترین مقدار ضریب تکثیر میونی ۱۶۱۳ برای غلظت رقیق دوتریوم - تریتیوم در حالتی که $C_p = 0/8$ و $C_d = C_t = 0/1$ باشد حاصل شده است (جدول ۳) که با جوابهای تجربی تطابق بسیار خوبی دارد [۴۱ و ۴۲].

نتیجه نهایی این است که دستگاه مخلوط سه گاز پیشنهادی که به

جدول ۳. ضرائب هورویتز (d) و ضرائب تکثیر میونی X در شرایط $C_p = 0/8$ و $C_d = C_t = 0/1$ در چگالیهای مختلف نسبت به چگالی هیدروژن مایع.

φ	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	$X\mu_{dt}$
0/1	9/03 e+12	7/91 e+37	2/90 e+72	2/09 e+115	1/27 e+164	0/145 e+03
0/2	1/69 e+13	2/98 e+38	4/38 e+73	2/51 e+117	1/80 e+167	0/294 e+03
0/3	2/49 e+13	6/59 e+38	2/18 e+74	4/22 e+118	1/34 e+169	0/455 e+03
0/4	3/28 e+13	1/16 e+39	6/84 e+74	3/13 e+119	2/94 e+170	0/602 e+03
0/5	4/07 e+13	1/81 e+39	1/66 e+75	1/49 e+120	3/26 e+171	0/760 e+03
0/6	4/87 e+13	2/61 e+39	3/45 e+75	5/34 e+120	2/34 e+172	0/923 e+03
0/7	5/66 e+13	3/55 e+39	6/39 e+75	1/57 e+121	1/24 e+173	0/108 e+04
0/8	6/46 e+13	4/64 e+39	1/09 e+76	4/00 e+121	5/34 e+173	0/125 e+04
0/9	7/25 e+13	5/89 e+39	1/75 e+76	9/16 e+121	1/92 e+174	1/143 e+04
1/0	8/04 e+13	7/29 e+39	2/67 e+76	1/91 e+122	6/08 e+174	0/161 e+04

جدول ۴. ضرائب هورویتز (a) در شرایط $C_t = 0/7$ و $C_p = C_a = 0/15$ در چگالیهای مختلف نسبت به چگالی هیدروژن مایع.

φ	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0/05	-1/00 e+00	-5/07 e+12	-4/39 e+24	-2/96 e+34	-2/19 e+43	-3/45 e+51
0/15	-1/00 e+00	-1/30 e+13	-1/33 e+25	-2/67 e+35	-5/91 e+44	-2/79 e+53
0/25	-1/00 e+00	-2/09 e+13	-2/25 e+25	-7/44 e+35	-2/74 e+45	-2/15 e+54
0/35	-1/00 e+00	-2/89 e+13	-3/19 e+25	-1/46 e+36	-7/52 e+45	-8/27 e+54
0/45	-1/00 e+00	-3/68 e+13	-4/15 e+25	-2/41 e+36	-1/59 e+46	-2/25 e+55
0/55	-1/00 e+00	-4/48 e+13	-5/13 e+25	-3/61 e+36	-2/92 e+46	-5/04 e+55
0/65	-1/00 e+00	-5/27 e+13	-6/14 e+25	-5/06 e+36	-4/82 e+46	-9/83 e+55
0/75	-1/00 e+00	-6/07 e+13	-7/17 e+25	-6/75 e+36	-7/41 e+46	-1/74 e+56
0/85	-1/00 e+00	-6/86 e+13	-8/22 e+25	-8/68 e+36	-1/07 e+47	-2/87 e+56
0/95	-1/00 e+00	-7/66 e+13	-9/29 e+25	-1/08 e+37	-1/50 e+47	-4/48 e+56

جدول ۵. ضرائب هورویتز (d) و ضرائب تکثیر میونی X در شرایط $C_1 = 0/7$ و $C_p = C_1 = 0/15$ در چگالیهای

مختلف نسبت به چگالی هیدروژن مایع.

φ	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	$X\mu_{dt}$
0/05	5/07 e+12	2/22 e+37	6/61 e+71	1/41 e+115	4/89 e+166	9/51 e+00
0/15	1/30 e+13	1/73 e+38	4/63 e+73	2/68 e+118	7/48 e+171	1/00 e+01
0/25	2/09 e+13	4/71 e+38	3/50 e+74	9/36 e+119	2/01 e+174	1/01 e+01
0/35	2/89 e+13	9/22 e+39	1/34 e+75	9/84 e+120	8/14 e+175	1/01 e+01
0/45	3/68 e+13	1/52 e+39	3/67 e+75	5/74 e+121	1/29 e+177	1/01 e+01
0/55	4/48 e+13	2/29 e+39	8/26 e+75	2/35 e+122	1/18 e+178	1/01 e+01
0/65	5/27 e+13	3/23 e+39	1/62 e+76	7/64 e+122	7/52 e+178	1/02 e+01
0/75	6/07 e+13	4/34 e+39	2/90 e+76	2/10 e+123	3/66 e+179	1/02 e+01
0/85	6/86 e+13	5/63 e+39	4/84 e+76	5/09 e+123	1/46 e+180	1/02 e+01
0/95	7/66 e+13	7/10 e+39	7/63 e+76	1/12 e+124	5/03 e+180	1/02 e+01

این محاسبات با فرضیات تجربی مسئله تطابق دارد چرا که دستگاه تولید قدرت در زمان تولید قدرت (حالت پایای پایدار) دارای دمای ثابت است. بررسی رفتار حالات پایای دستگاه درحالتی که تغییرات دمایی وجود داشته باشد نیاز به مطالعات گسترده تر دارد که شرایط فوق بایستی در حل معادلات دینامیکی اولیه منظور گردند. در صورت در دسترس بودن داده‌های مورد لزوم انجام این کار در آینده توصیه می‌شود.

تشکر و تقدیر

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز و دانشکده علوم دانشگاه شیراز که امکان انجام این تحقیق را فراهم آوردند تشکر و قدردانی می‌شود.

داده شده و نتایج حاصله در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. برای نشان دادن اینکه سایر غلظتها نیز حالت پایداری را دارند اما ضریب تکثیر میونی کوچکتر است محاسبات برای چندین حالت دیگر نیز انجام و نتایج حاصل برای این حالتها در جداول ۴ و ۵ داده شده اند. بایستی تأکید شود که این مطالعات در حالت پایا انجام شده است و اثر اتمهای $t\mu$ پراثرژی در تشکیل رزونانسی مولکول $dt\mu$ در مخلوط D-T-H در نظر گرفته نشده است.

همچنین دستگاه همجوشی کاتالیزور میونی را در حالت دما ثابت مطالعه کردیم ولی بایستی یادآور شد که مطالعات و تحلیلهای اخیر نشان داده‌اند که اگر دما تغییر کند می‌تواند پتانسیلهای لازم برای رفتار غیرمنظم در دستگاه را افزایش دهد [۴۸]. متذکر می‌شویم که شرط دمای ثابت در نظر گرفته شده در

مراجع:

- Isotopes" Nucl. Phys. A, 353, 201 (1981).
14. W H Breunlich et al., "Experimental study of Muon-Catalyzed Fusion in Low - Density Deuterium - Tritium Gas," *Phys. Rev. Lett.*, 53, 1137 (1984).
 15. S S Gershtein and L I Ponomarev, " μ Meson Catalysis of Nuclear Fusion in Mixture of Deuterium and Tritium," *Phys. Lett. B*, 72, 80 (1977).
 16. V V Byrtitsky et al., "Experimental Detection and Investigation of Muon Catalyzed Fusion of Deuterium and Tritium," *Phys. Lett. B*, 94, 476 (1980).
 17. S E Jones et al., Experimental Investigation of Muon Catalyzed d-t Fusion, "*Phys. Rev. Lett.*, 51, 1757 (1983).
 18. S E Jones et al., Observation of Unexpected Density Effects in Muon Catalyzed d-t Fusion, "*Phys. Rev. Lett.*, 56, 588 (1986).
 19. C Petitjean et al., "The $pd\mu$ Fusion cycle, "*Muon Catalyzed Fusion*, 5, 199 (1990).
 20. M Jeitler et al., "Epithermal Effects in Muon Catalyzed d-t Fusion. "*Muon Catalyzed Fusion*, 5/6, 209 (1990/1991).
 21. H Daniel, "Energy and Application." *Muon Catalyzed Fusion*, 5/6, 557 (1990/1991).
 22. J Rafelski et al., "Cold Fusion: Muon Catalyzed Fusion," *J. Phys B. At Mol. Opt. Phys.*, 24, 1469 (1991).
 23. S E Jones, S F Taylor and A N Anderson, "Evaluation of Muon Sticking from Liquid, Nonequibrated d-t Targets with High Tritium Fractions," *Hyperfine Interac.*, 82, 303 (1993).
 24. K Lou et al., Final d-t Sticking W_s using the Survived Muon Method, "*Hyperfine Interac.*, 82, 313 (1993).
 25. G G L Henderson, F D Brooks and W A Cilliers, "Techniques for Measuring Initial
 1. F C Frank, "Hypothetical Alternative Energy Sources for the Second Meson Events" *Nature*, 160, 525 (1947).
 2. A D Sakharov and P M Lebedev, "Report of the physics," Academy of Sciences, USSR (1948).
 3. Ya B Zeldovich, Reactions Induced by μ -Mesons in Hydrogen," *Akad. Nauk SSSR*, 50, 493 (1954)
 4. J D Jackson, "Catalysis of Nuclear Reactions Between Hydrogen Isotopes by μ -Mesons," *Phys. Rev.*, 106, 330 (1957).
 5. L W Alvarez et al., "Catalysis of Nuclear Reactions by μ -Mesons," *Phys. Rev.* 105, 1127 (1957)
 6. L W Alvarez, "Nobel Prize Acceptance Lectures," (1968).
 7. A Ashmore et al., "The Gamma-Rays from Muon Catalyzed Fusion of Hydrogen and Deuterium, " *Proce. Soc. London*, /1, 161 (1958).
 8. S S Gershtein and Ya B Zeldovich, "Nuclear Reactions in Cold Hydrogen. I. Mesonic Catalysis, " *Sov. Phys. Usp.*, 3, 593 (1961)
 9. V P Dzhelepov et al., "Catalysis by Negative Muons of the Nuclear Reactions $d\mu + P \rightarrow {}^3\text{He} + \mu$ and $d\mu + d \rightarrow t + p + \mu$ and Formation of the Molecules $pd\mu$ and $dd\mu$ in Gaseous Hydrogen, " *Sov. Phys. JETP*, 23, 820 (1966).
 10. F A Vesman, "Concerning One Possible Mechanism of Production of the Mesic-Molecular Ion $(d\mu)^+$, " *JETP Lett.*, 5, 113 (1967).
 11. S S Gershtein and L I Ponomarev, "Meso-Molecular Processes Induced by μ and π Mesons," *Muon Physics*, Vol. III, P. 141, V. W Huges and C S Wu, Eds., Academic press, New York (1975).
 12. L Bracci and C Fiorentini, "Mesic Molecule $dt\mu$ " *Phys. Rep.*, 86, 169 (1982).
 13. W H Breunlich, "Muon Capture in Hydrogen

- Energy Balance Study in a Meso-Catalytic Hybrid Reactor with Spin Polarization and it's Comparison with an Un-Polarized System, "Nucl. Sci. J., **34**, 153 (1997).
36. G Ghapline and R Mor, "Some Thoughts on Production of Muons for Fusion Catalysis," *Journal of Fusion Energy*, **5**, 191 (1986).
37. Yu V Petrov and Yu M. Shabelskii, "Estimate of the Expenditure of Energy of $\bar{\pi}$ Mesons by Nucleons in Light Nuclei," *Sov. J. Nucl. Phys.*, **30**(1), 60 (1976).
38. M Jandel, M Danos and J Rafelski, "Active Target Production of Muons for Muon-Catalyzed Fusion," *Phys. Rev. C* **37**, 403 (1988).
39. S Elizer and Z Henis, "Muon-Catalyzed Fusion-an Energy Production Perspective," *Fusion Technology* **26**, 46 (1994).
40. M R Eskandari, M Zahedi-far and G Sheikh, "Optimal Condition for Poin Production in Double Target Conceptual Scheme for Muon Catalyzed Fusion," *Nucl Sci J Vol.* **35**, No. 1, (1998).
41. V E Markushin, E I Afanasieva, T Case, K Lou and C Petitjean, *Hyp. Int. Vol.* **82** (1993) 373.
42. V E Markushin, E I Afanasieva, T Case, K Lou and C Petitjean, *Muon Catalyzed Fusion*, **7** (1992) 155.
۴۳. محمد رضا اسکندری، سیده نسرين حسینی مطلق، "مطالعه بستگی بازده میون به چگالی یونی در همجوشی مخلوط D-T و D-T-H و مقایسه آنها" مجله پژوهش فیزیک، جلد اول به شماره اول (۱۳۷۶).
44. I R Epstein, Oscillation Chemical Reactions, *Scientific American* **248** (3), 112 (1983).
45. M R Eskanadari, S N Hoseini-motlagh, "Stability Studies of Muon Catalyzed Fusion in Mixture of D-T-H", *Nucl. Sci. J. Vol.* **36**. No. 1,1 (1999).
46. R K Miller, A N Michel Ordinary Differential Sticking in d-t Fusion, "Hyperfine Interac.", **82**, 327 (1993).
26. K Nagamine et al., "X-ray Measurement on Muon to Alpha Sticking in Muon Catalyzed d-t Fusion, "Present and Future," *Hyperfine Interac.* **82**, 343 (1993).
27. M Jandel, P Froelich, G. Larson and C D Stodden, "Reactivation of $\pi\mu$ in Muon Catalyzed Fusion under Plasma Conditions, " *Phys. Rev. A*, **40**, 2799 (1989).
28. G Cripps, A A Harms and B Goel, "Muon Catalyzed Fusion Chain Length Extension Under Compressive Conditions," *Fusion Technology*, **20**, 904 (1991).
29. C Petitjean et al., "Experimental Survey of the Sticking Problem in Muon Catalyzed d-t Fusion, " *Hyperfine Interac.*, **82**, 273 (1993).
30. Yu V Petrov, "Conceptual Scheme of a Hybrid Meso-Catalytic Fusion Reactor," *Soviet Atomic Energy*, **63**, 833 (1987).
31. S Elizer, T Tajima and Rosenbluth, "Muon Catalyzed Fusion-Fission Reactor Driven by a Recirculating Beam," *Nucl. Fusion*, **27**, 527 (1987).
32. T Tajima, S Elizer, and R M Kulsrud, "A New Concept for Muon Catalyzed Fusion Reactor," *Proc. Muon Catalyzed Fusion*, Sanibel Island, Florida, 1988, S E Jones, J Rafelski and H J Monkorst, Eds., American Institute of physics (1989).
33. S I Kalcheva, V V Kuzminov and Yu V Petrov, "Fuel Breeding in a Hybrid Muon Catalyzed Fusion Reactor, "Hybrid Muon Catalyzed Fusion Reactro, *Hyperfine Interac.*, **82**, 554 (1993).
34. M R Eskandari, "Moun Catalyzed Hybrid Reactor Under Compression and Heating Conditions, " *Nucl. Sci. J.*, **31**, 247 (1994).
35. A Ghasmi- zad and M R Eskandari, "The

48. M R Eskandari, A Ghasemi-zad, "The Effect of Mean Residence Time on Fission Reactor Behavior", Int. Summer College on Physics and Contemporary Needs, Nathiaghali, (1994).
47. M R Eskandari, A Ghasemi-zad, *Iranian Journal of Science and Technology*, Vol. 20. No. 4, Transaction A, 395 (1996).