



معرفی اثرات پخشیدگی سطح هسته‌ها بعنوان تأثیرگذارترین عامل در دستیابی به نتایج دقیق ارتفاع سدهای همجوشی

قرائی، رضا* - شهرکی فرخنده، معین

دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

با بهره‌گیری از چارچوب پتانسیل مجاورت، به بررسی همزمان نقش سه اثر فیزیکی مختلف شامل پخشیدگی سطح هسته‌ها، کشش سطحی و دما بر روی سدهای همجوشی ۱۸۱ واکنش مختلف با شرط $30 \leq Z_1 Z_2 \leq 3400$ برای حاصلضرب اعداد اتمی آنها پرداخته‌ایم. برای دستیابی به این هدف، با بکارگیری رویکردهای تئوری مناسب و اعمال هر یک از اثرات یاد شده بر روی نسخه‌ی اصلی پتانسیل مجاورت (یعنی Prox.77)، مقادیر ارتفاع سد همجوشی V_B را برای کلیه واکنش‌های انتخابی محاسبه نموده‌ایم. مقایسه مقادیر تئوری و تجربی ارتفاع سد همجوشی آشکار می‌سازد که اعمال هر یک از اثرات مذکور به تنهایی باعث ارتقا کیفیت مدل پتانسیل Prox.77 در پیش‌بینی داده‌های تجربی V_B می‌شود. علاوه بر این مقایسه همزمان نتایج بدست آمده حاکی از آن است که از میان سه اثر فیزیکی مورد بررسی، پخشیدگی سطح هسته‌ها بیشترین نقش را در بهبود توافق میان داده‌های تئوری و تجربی ارتفاع سد در محدوده‌ی جرمی انتخابی دارد.

کلمات کلیدی: واکنش‌های همجوشی یون-سنگین، فرمالیسم مجاورت، اثرات فیزیکی دما، انرژی و پخشیدگی سطحی

Introduction of the nuclear surface diffuseness effects as most important factor in achieving accurate results of fusion barrier heights

Gharaei, Reza; Shahraki Farkhonde, Moein

Department of Physics, Faculty of Sciences, Hakim Sabzevari University

Abstract:

Within the framework of the proximity potential, we have simultaneously studied the role of three physical effects of nuclear surface diffuseness, surface tension and temperature for 181 fusion reactions with condition $30 \leq Z_1 Z_2 \leq 3400$ for product of their atomic numbers. To this aim, we have calculated the values of the fusion barrier height for our selected reactions by employing appropriate approaches and imposing the mentioned effects on the original version of the proximity potential (namely Prox.77). A comparison between the theoretical and experimental data of this quantity reveal that the imposing of each of these effects improve the quality of the Prox. 77 model. Moreover, it is shown that the nuclear surface diffuseness effects have the greatest role in improving the agreement between the theoretical and experimental values of the barrier height for our selected mass range.

Keywords: Heavy-ion fusion reactions, Proximity formalism, Physical effect of temperature, Energy and Surface diffuseness



مقدمه:

واکنش همجوشی یون-سنگین یکی از کاربردی‌ترین مکانیزم‌ها برای تولید عناصر سنگین و فوق سنگین می‌باشد. بطور کلی، فرایند نزدیک شدن هسته‌های پرتابه و هدف درطول فرایند همجوشی همراه با شکل‌گیری یک سد پتانسیل به نام "سد همجوشی" می‌باشد. از نقطه نظر تئوری، این سد پتانسیل دارای دو مشخصه اصلی یعنی ارتفاع سد (V_B) و محل سد (R_B) می‌باشد. همانگونه که می‌دانیم با فرض قرار داشتن هسته‌ها در حالت با تکانه زاویه‌ای $l=0$ ، پتانسیل برهم‌کنشی میان دو هسته از دو بخش پتانسیل بلند برد دافعه‌ی کولنی و پتانسیل کوتاه برد جاذبه‌ی هسته‌ای تشکیل شده است. یکی از پرکاربردترین و در عین حال ساده‌ترین مدل‌های تئوری برای محاسبه‌ی پتانسیل برهم‌کنشی، فرمالیزم مجاورت است که نخستین نسخه‌ی آن در سال ۱۹۷۷ و برپایه‌ی "نظریه نیروی مجاورت" [۱] ارائه شده است. نتایج حاصل از تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر آشکار می‌سازد که مدل Prox. 77 ارتفاع سدهای همجوشی را بالاتر و در نتیجه سطح مقطع‌های همجوشی را پایین‌تر از داده‌های متناظر تجربی پیش‌بینی می‌کند [۲,۳]. این بدان معنی است که برای دستیابی به جواب‌های هر چه دقیق‌تر در زمینه‌ی توصیف ویژگی‌های مختلف واکنش‌های همجوشی براساس نسخه‌ی اصلی پتانسیل مجاورت نیاز است تا اصلاحاتی را در فرمالیزم آن وارد نماییم. در طی چند دهه‌ی گذشته، مطالعات متعددی برای اصلاح این مدل انجام شده است. در حقیقت، محققان در تلاش بوده‌اند تا از طریق بررسی و آنالیز نقش اثرات فیزیکی مختلف فرم‌های جدیدی برای بخش‌های مختلف فرمالیزم مجاورت نظیر پارامتر شعاع، ضریب انرژی سطحی و تابع جهانی ارائه دهند. از جمله‌ی اثرات فیزیکی تأثیرگذار در این زمینه اثر ضریب انرژی سطحی γ می‌باشد. نتایج تحقیقات صورت گرفته حاکی از آن است که افزایش قدرت این ضریب باعث کاهش ارتفاع سد همجوشی و در نتیجه بهبود توافق میان داده‌های تئوری حاصل از مدل Prox. 77 با داده‌های متناظر تجربی می‌شود. اثرات دمایی و پخشیدگی سطح هسته‌ها نیز دو اثر فیزیکی شناخته شده می‌باشند که بعضاً در مطالعاتی نظیر [۴,۵] به بررسی نقش آن‌ها بر روی ویژگی‌های مختلف واکنش‌های همجوشی پرداخته شده است. در واقع تا به امروز هیچ مطالعه‌ی سیستماتیکی با هدف بررسی همزمان نقش این سه اثر فیزیکی در کانال همجوشی کامل دو هسته‌ی برهم‌کنشی انجام نشده است. از اینرو، در تحقیق حاضر علاقه‌مند هستیم که با مطالعه‌ی تعداد ۱۸۱ واکنش همجوشی یون-سنگین با شرط $30 \leq Z_1 Z_2 \leq 3400$ برای حاصل ضرب اعداد اتمی هسته‌های برهم‌کنشی آنها بدنبال دستیابی به پاسخ این سؤال هستیم که از بین سه اثر ضریب انرژی سطحی، پخشیدگی سطح هسته‌ها و دمایی سیستم برهم‌کنشی کدامیک تأثیر بیشتری بر روی بهبود نتایج حاصل از نسخه‌ی اصلی پتانسیل مجاورت دارد؟ برای رسیدن به این هدف از طریق رویکردهای تئوری مناسب نقش هر یک از این اثرات را بر روی نتایج حاصل از مدل Prox. 77 بطور جداگانه و همزمان ارزیابی می‌کنیم. بطور قطع انجام چنین تحقیقی به درک هر چه بیشتر ما از خصوصیات واکنش‌های همجوشی کمک شایانی خواهد کرد.



روش کار:

در این بخش قصد داریم تا در ابتدا به معرفی فرمالیزم مجاورت برای تعیین قدرت برهم‌کنش‌های هسته‌ای در طول فرایند همجوشی بپردازیم. براساس تحقیقات صورت گرفته در مرجع [۱]، مادامیکه سطح دو هسته‌ی برهم‌کنشی به فاصله‌ی ۲ الی ۳ فرمی از یکدیگر می‌رسند نیرویی اضافی در سیستم ظاهر خواهد شد که اصطلاحاً نیروی مجاورت نامیده می‌شود. بطور قطع وجود این نیرو امکان دسترسی ما را به تعریف پتانسیل مجاورت براساس مدل Prox. 77 فراهم می‌کند که براساس آن می‌توان نوشت [۱]،

$$V_N(r) = 4\pi\gamma b\bar{R}\Phi\left(\frac{r-C_1-C_2}{b}\right) \quad (1)$$

که در آن حاصل ضرب $4\pi\gamma b\bar{R}$ بخش وابسته به شکل و هندسه‌ی هسته‌های برهم‌کنشی می‌باشد و $\Phi\left(\frac{r}{b}\right)$ یک تابع بدون بعد به نام تابع جهانی است که برای تعیین آن می‌توان از رابطه‌ی (۶) مرجع [۳] بهره گرفت. لازم به ذکر است که در بخش اول، b پارامتر ضخامت سطح نامیده می‌شود که بطور معمول مقدار آن را در واکنش‌های همجوشی حدود ۱ فرمی در نظر می‌گیرند. اثر فاکتورهای تأثیرگذار دیگر در فرمالیزم پتانسیل مجاورت، پارامتر شعاع کاهش یافته‌ی \bar{R} می‌باشد که به شکل زیر تعریف می‌گردد،

$$\bar{R} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

که جزئیات مربوط به نحوه‌ی محاسبه‌ی شعاع‌های نیم‌چگالی C_1 و C_2 در مرجع [۳] بیان شده‌اند. لازم به ذکر است که در رابطه‌ی (۱)، γ ضریب انرژی سطحی نامیده می‌شود که برای تعریف آن می‌توان نوشت [۱،۳]،

$$\gamma = \gamma_0 [1 - k_s A_s^2] \quad (3)$$

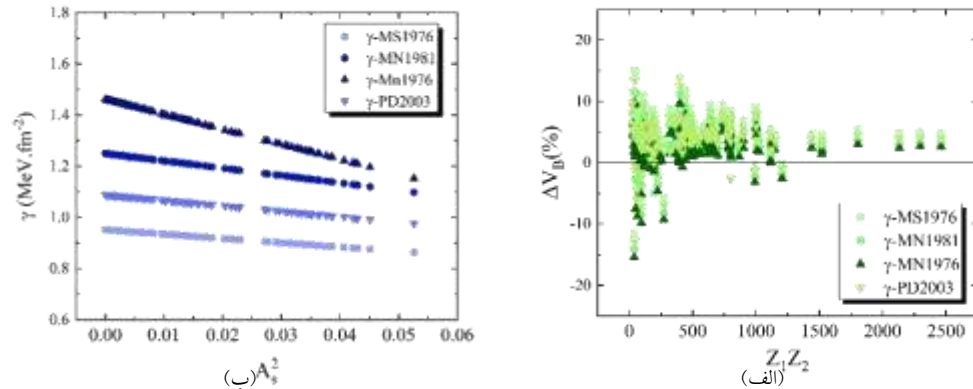
در اینجا $A_s = (N-Z)/(N+Z)$ پارامتر عدم تقارن سیستم برهم‌کنشی می‌باشد. علاوه براین، ثابت‌های انرژی سطحی γ_0 و عدم تقارن سطحی k_s در مدل Prox. 77 به ترتیب دارای مقادیر $0.9517 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ و $1/7826$ [۶] می‌باشند. در ادامه قصد داریم نحوه اعمال هر یک از سه اثر فیزیکی مورد بررسی در این تحقیق را در محاسبات مربوط به ارتفاع سد همجوشی حاصل از نسخه‌ی اصلی فرمالیزم مجاورت بیان نماییم.

بررسی نقش اثرات کشش سطحی بر روی سد همجوشی:

یکی از تأثیرگذارترین فاکتورها در زمینه آنالیز واکنش‌های همجوشی از طریق فرمالیزم مجاورت، ضریب انرژی سطحی γ است که به نوعی می‌تواند بیان‌کننده‌ی میزان اثرات کشش سطحی در فرایند همجوشی باشد. براساس تعریف ارائه شده در بخش قبل، رابطه‌ی (۳)، مشاهده می‌شود که این ضریب به دو ثابت γ_0 و k_s وابسته است که در طول سال‌های اخیر مجموعه‌های مختلفی از این دو ثابت معرفی شده‌اند [۷]. بعنوان نمونه می‌توان به MS1996- γ (با مقادیر $1/7826$ و k_s) و



(با γ -MN1976 ($\gamma_0 = 1/2496 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ و $k_s = 2/3$ با مقادیر γ -MN1981 ($\gamma_0 = 0/9517 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ ($\gamma_0 = 1/2496 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ و $k_s = 2/3$)، [۸]، γ -MN1976) مقادیر γ -PD2033 ($\gamma_0 = 1/9830 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ و $k_s = 1/9830$ با مقادیر γ -PD2033 ($\gamma_0 = 1/4670734 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ و $k_s = 4/0$)، [۹] و γ -PD2033 ($\gamma_0 = 1/4670734 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ و $k_s = 4/0$) اشاره کرد. واضح است که با انتخاب هر یک از این مجموعه‌ها قادر خواهیم بود مقادیر متفاوتی را برای قدرت ضریب انرژی سطحی γ در واکنش‌های همجوشی بدست آوریم که این نیز به نوبه‌ی خود امکان آنالیز اثرات افزایش و یا کاهش کشش سطحی بر روی پتانسیل و دیگر ویژگی‌های واکنش‌های همجوشی را فراهم خواهد کرد. دلیل انتخاب این مجموعه‌ها را نیز می‌توان در این موضوع دانست که آنها طیف مقادیر ضریب انرژی سطحی γ را تقریباً بطور کامل در برمی‌گیرند. با اعمال هر یک از چهار مجموعه‌ی انتخابی از ضرایب (γ_0, k_s) در فرمالیزم پتانسیل مجاورت، قادر خواهیم بود مقادیر ارتفاع سد همجوشی را براساس چهار نسخه‌ی اصلاح شده از این فرمالیزم برای تمامی ۱۸۱ واکنش یون- سنگین انتخابی محاسبه نماییم. برای دستیابی به درک بیشتر از میزان توافق میان مقادیر تئوری و تجربی ارتفاع سد براساس هر یک از چهار مدل پتانسیل مجاورت، اختلاف نسبی میان این مقادیر را از طریق رابطه‌ی $\Delta V_B(\%) = 100 * ((V_B^{\text{Theor.}} - V_B^{\text{Exp.}}) / V_B^{\text{Exp.}})$ محاسبه کرده‌ایم. شکل (۱)، مقادیر بدست آمده برای $\Delta V_B(\%)$ را برحسب حاصل ضرب $Z_1 Z_2$ واکنش‌های مختلف نشان می‌دهد که برپایه‌ی مدل پتانسیل مجاورت با چهار مجموعه‌ی γ -PD2033، γ -MS1976 و γ -MN1976 تعیین شده‌اند. با مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های مختلف با مجموعه‌ی γ -MS1976 (که در واقع همان مدل Prox. 77 می‌باشد) در می‌یابیم که اعمال هر یک از ضرایب انتخابی (γ_0, k_s) باعث کاهش مقادیر ارتفاع سد همجوشی و افزایش توافق آنها با داده‌های متناظر تجربی می‌شود. بطوریکه مقادیر انحراف استاندارد داده‌های تئوری از تجربی براساس هر یک از مدل‌های نامبرده به ترتیب برابر $4/10$ ، $3/41$ ، $2/76$ و $2/19$ می‌باشند. دلیل چنین رفتاری را می‌توان در وابستگی مستقیم قدرت پتانسیل هسته‌ای مجاورت به ضریب γ دانست. در حقیقت، براساس روند تغییرات مقادیر بدست آمده‌ی γ برحسب مجذور پارامتر عدم تقارن A_s در سیستم‌های همجوشی مختلف، متوجه خواهیم شد با رفتن از مجموعه‌ی γ -MS1976 به γ -MN1976 قدرت ضریب انرژی سطحی بطور منظم افزایش می‌یابد بطوریکه به بیشترین مقادیر این ضریب به ازای $k_s = 4/0$ و $\gamma_0 = 1/4670734 \text{ MeV}\cdot\text{fm}^{-2}$ تولید می‌شوند، شکل (۲) را ملاحظه نمایید. تحت این شرایط، بیشترین کاهش مقادیر ارتفاع سد نسبت به مدل Prox. 77 به مجموعه‌ی γ -MN1976 اختصاص خواهد داشت.



شکل (۱) الف) مقادیر $\Delta V_B(\%)$ برحسب حاصلضرب $Z_1 Z_2$ و ب) رفتار ضریب انرژی سطحی γ برحسب مجذور پارامتر عدم تقارن A_s واکنش‌های مورد بررسی براساس پتانسیل مجاورت همراه با چهار مجموعه‌ی مختلف از ضرایب (γ_0, k_s) .

بررسی نقش اثرات پخشیدگی بر روی سد همجوشی:

یکی دیگر از فاکتورهای تاثیرگذار در آنالیز واکنش‌های همجوشی بر اساس فرمالیزم مجاورت، پارامتر شعاع است. در سال‌های اخیر، تعاریف مختلفی برای محاسبه شعاع هسته‌های پرتابه و هدف در این فرمالیزم ارائه شده است [۲,۳]. در مطالعه‌ی حاضر به غیر رابطه‌ی شعاع براساس مدل Prox. 77 سه تعریف دیگر نیز برای محاسبه‌ی این کمیت برگزیده شده است که همگی آنها از مدل‌های تئوری تأیید شده‌ی Bass 80، AW 95 و BW 91 استخراج شده‌اند [۳]. براساس روابط ارائه شده در این مرجع برای تعریف پارامتر شعاعی در هر یک از این چهار مدل برحسب عدد جرمی A هسته پرتابه (هدف) می‌توان نوشت،

$$R^{\text{Prox.77}} = 1.28A^{1/3} - 0.76 + 0.8A^{-1/3} \quad (4)$$

$$R^{\text{AW95}} = 1.2A^{1/3} - 0.09 \quad (5)$$

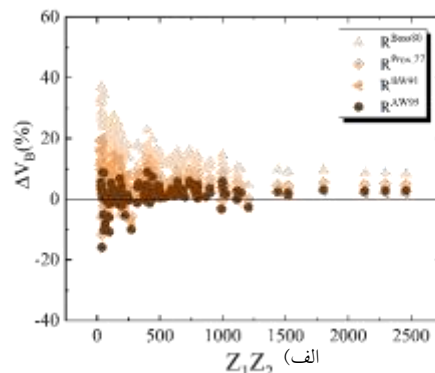
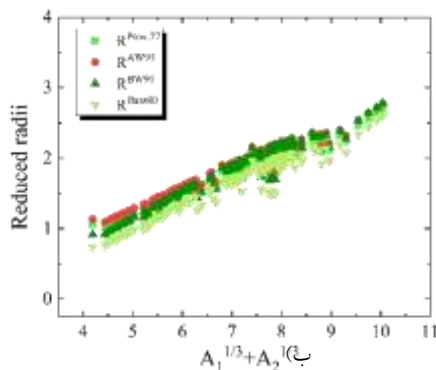
$$R^{\text{BW91}} = 1.233A^{1/3} - 0.98A^{1/3} \quad (6)$$

$$R^{\text{Bass80}} = R^{\text{Prox.77}}(1 - 0.98/R^{\text{Prox.77}}) \quad (7)$$

وجود این تعاریف مقادیر متفاوتی را برای شعاع هسته‌های هدف و پرتابه و در نتیجه شعاع کاهش یافته‌ی \bar{R} در پی خواهد داشت که این موضوع نیز به نوبه‌ی خود امکان بررسی اثرات افزایش و یا کاهش پخشیدگی سطح هسته‌ها را بر روی پتانسیل برهم‌کنشی فراهم خواهد کرد. لازم به ذکر است با بکارگیری شعاع‌های نیم‌چگالی C_1 و C_2 هسته‌ها در تعریف شعاع کاهش یافته‌ی \bar{R} ، رابطه‌ی (۲)، به نوعی اثرات پخشیدگی سطح هسته‌ها نیز در محاسبات پتانسیل هسته‌ای لحاظ می‌شوند. در این بخش با اعمال هر یک از تعاریف (۴) تا (۷) در فرمالیزم پتانسیل مجاورت، قادر خواهیم بود مقادیر



ارتفاع سد همجوشی را برای هر یک از ۱۸۱ واکنش انتخابی برپایه‌ی نسخه‌های اصلاح شده‌ی این پتانسیل محاسبه کنیم. در جهت آنالیز نتایج بدست آمده، بار دیگر محاسبات مربوط به درصد اختلاف مقادیر تئوری و تجربی V_B را انجام داده و مقادیر بدست آمده برای $\Delta V_B(\%)$ را برحسب حاصلضرب اعداد اتمی هسته‌های برهم‌کنشی در بخش (الف) شکل (۲) نمایش داده‌ایم. نتایج نمایش داده شده در این شکل حاکی از آن است که اعمال هر یک از شعاع‌های R^{AW95} ، R^{BW91} و R^{Bass80} در فرمالیزم مجاورت باعث بهبود نتایج آن در پیش‌بینی داده‌های تجربی ارتفاع سد همجوشی می‌شود. با محاسبه‌ی مقادیر انحراف استاندارد داده‌های تئوری از تجربی در می‌یابیم که مدل پتانسیل مجاورت با شعاع‌های R^{Bass80} ، R^{BW91} و R^{AW95} به ترتیب دارای انحرافات به اندازه‌ی ۸/۳۰، ۲/۵۱ و ۲/۰۴ در محدوده‌ی جرمی مورد بررسی در این تحقیق می‌باشند. با توجه به نتایج بدست آمده روشن است که بیشترین و کمترین انحراف داده‌های تئوری ارتفاع سد همجوشی نسبت به مقادیر متناظر آزمایشگاهی به ترتیب اختصاص به مدل پتانسیل مجاورت همراه با پارامترهای شعاعی R^{Bass80} و R^{AW95} دارد. برای درک بهتر این نتیجه، در بخش (ب) شکل (۲) رفتار مقادیر بدست آمده شعاع کاهش یافته‌ی \bar{R} را بصورت تابعی از $A_1^{1/3} + A_2^{1/3}$ برای هر چهار رابطه‌ی شعاعی مورد بررسی نمایش داده‌ایم. با توجه به شکل مشخص می‌شود که رابطه‌ی شعاعی مبتنی بر مدل $AW95$ بزرگترین مقادیر و رابطه‌ی شعاعی مبتنی بر مدل $Bass80$ کوچکترین مقادیر را برای کمیت \bar{R} تولید می‌کنند. از طرفی بر طبق تعاریف ارائه شده برای فرمالیزم مجاورت [۳]، با افزایش پارامتر پخشیدگی سطح هسته‌ها ضخامت سطح آنها (یعنی پارامتر b) افزایش می‌یابد. افزایش در پارامتر b به نوعی باعث کاهش مقادیر شعاع نیم‌چگالی هسته‌ها و در نتیجه افت شعاع کاهش یافته‌ی \bar{R} سیستم می‌شود. بدلیل وجود چنین ارتباطی، می‌توان نتیجه گرفت که هر اندازه پخشیدگی سطح هسته‌ها افزایش یابد از میزان توافق میان مقادیر تئوری و تجربی ارتفاع سد همجوشی کاسته خواهد شد.



شکل (۲) الف) مقادیر $\Delta V_B(\%)$ برحسب حاصلضرب Z_1Z_2 و ب) رفتار شعاع کاهش یافته \bar{R} برحسب $A_1^{1/3} + A_2^{1/3}$ واکنش‌های مورد بررسی براساس پتانسیل مجاورت همراه با چهار رابطه‌ی شعاعی پیشنهادی.

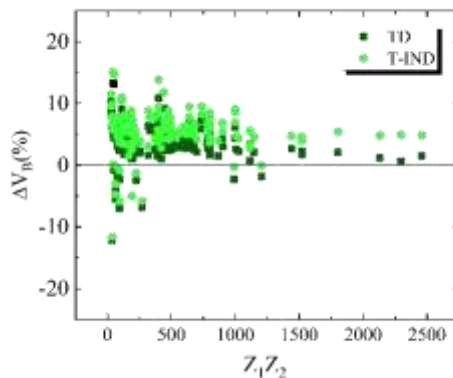


بررسی نقش اثرات دمایی بر سد همجوشی:

آخرین اثر فیزیکی که در این تحقیق به بررسی نقش آن بر روی نتایج حاصل از مدل مجاورت برای محدوده‌ی جرمی انتخابی خود خواهیم پرداخت، اثرات دمایی است. اخیراً در مطالعه‌ای که بر روی ۶۰ واکنش همجوشی صورت گرفته است، فرم وابسته به دمایی برای ضریب انرژی سطحی γ معرفی شده که مبتنی بر معادلات ترمودینامیکی و اندروالس است،

$$\gamma = \gamma(T = 0) \left[1 - \left(\frac{T - T_B}{T_B} \right) \right]^{3/2} \quad (۸)$$

که در آن $\gamma(T = 0)$ از طریق رابطه‌ی (۳) قابل محاسبه می‌باشد. از طرفی جزئیات مربوط به نحوه‌ی محاسبه‌ی دمای متناظر با انرژی اطراف سد همجوشی یعنی T_B نیز در مرجع [۴] بطور کامل گزارش شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اعمال اثرات وابستگی دمایی در فرمالیزم مجاورت باعث افزایش قدرت ضریب انرژی سطحی و در نتیجه کاهش مقادیر ارتفاع سد همجوشی خواهد شد [۴]. با محاسبه‌ی مقادیر $\Delta V_B(\%)$ براساس مدل Prox. 77 با و بدون احتساب وابستگی دمایی و رسم آنها برحسب حاصلضرب $Z_1 Z_2$ در محدوده‌ی جرمی انتخابی متوجه خواهیم شد که در اینجا نیز پس از اعمال اثرات دمایی با کاهش مقادیر ارتفاع سد همجوشی و متعاقباً افزایش میزان توافق آنها با داده‌های متناظر تجربی مواجه هستیم. در حقیقت، میزان انحراف استاندارد مقادیر تئوری V_B از داده‌های آزمایشگاهی آن از مقدار $4/10$ در مدل مستقل از دمای Prox. 77 به مقدار $2/48$ در مدل وابسته به دمای آن کاهش می‌یابد.



شکل (۳) مقادیر $\Delta V_B(\%)$ برحسب $Z_1 Z_2$ واکنش‌های مورد بررسی با استفاده از مدل Prox. 77 با و بدون وابستگی دمایی.

بحث و نتیجه‌گیری:

در راستای دستیابی به پیش‌بینی‌های هر چه دقیق‌تر برای ارتفاع سدهای همجوشی (بعنوان یکی از تأثیرگذارترین کمیت‌ها در بحث مطالعات تئوری واکنش‌های همجوشی) حاصل از فرمالیزم مجاورت، به بررسی همزمان نقش سه اثر فیزیکی کتس سطحی، پخشیدگی سطحی و همچنین دمای سیستم برهم‌کنشی پرداخته‌ایم. مهمترین نتایج بدست آمده از این



مطالعه برای مجموع ۱۸۱ واکنش همجوشی یون-سنگین ($30 < Z_1 Z_2 < 3400$) به شرح ذیل می‌باشند: (۱) اعمال هر یک از این اثرات به تنهایی باعث بهبود نتایج ارتفاع سد همجوشی حاصل از نسخه‌ی اصلی فرمالیزم مجاورت یعنی Prox. 77 می‌شود. براساس یافته‌های مستخرج شده در هر بخش در می‌یابیم که با افزایش قدرت اثرات کشش سطحی، کاهش اثرات پخشیدگی سطح هسته‌ها و اعمال وابستگی دمایی اختلاف میان داده‌های تئوری و تجربی V_B مبتنی بر مدل Prox. 77 در محدوده‌ی جرمی این تحقیق کاهش می‌یابد. در حقیقت، در بخش اثرات کشش سطحی مجموعه‌ی MN1976- γ با میزان انحراف استاندارد $SD=2.19$ ، در بخش اثرات پخشیدگی R^{AW95} با میزان انحراف استاندارد $SD=2.04$ و در بخش اثرات دمایی مدل وابسته به دما با میزان انحراف استاندارد $SD=2.48$ به عنوان بهترین مجموعه از بین مجموعه‌های مورد بررسی انتخاب شده‌اند. با مقایسه‌ی همزمان این نتایج در می‌یابیم که از بین سه اثر فیزیکی مورد بررسی، اثرات پخشیدگی سطح بیشترین تأثیر را بر روی بهبود نتایج حاصل از مدل Prox.77 برای پیش‌بینی داده‌های تجربی ارتفاع سد همجوشی دارد.

مراجع:

- [1] J. Blocki et al., *Ann. Phys. (NY)* **105**, 427 (1977).
- [2] I. Dutt, and R. K. Puri, *Phys. Rev. C* **81**, 044615 (2010).
- [3] I. Dutt, and R. K. Puri, *Phys. Rev. C* **81**, 064609 (2010).
- [4] M. Salehi, and O. N. Ghodsi, *Chin. Phys. Lett.* **30**, 042502 (2013).
- [5] O. N. Ghodsi, and R. Gharaei, *Phys. Rev. C* **88**, 054617 (2013).
- [6] W. D. Myers, and W. J. Swiatecki, *Ark. Fys.* **36**, 343 (1967).
- [7] I. Dutt, *Pramana Journal of Physics*, **76**, 921 (2011).
- [8] P. Möller, and J. R. Nix, *Nucl. Phys. A* **361**, 117 (1981).
- [9] P. Möller, and J. R. Nix, *Nucl. Phys. A* **272**, 502 (1976).
- [10] K. Pomorski, and J. Dudek, *Phys. Rev. C* **67**, 044316 (2003).