

## محاسبه نیمه تحلیلی پارامترهای سوخت برای گداخت افروزش شوکی

سید ابوالفضل قاسمی<sup>۱</sup>، امیر حسین فرهد<sup>۱</sup> و صمد سبحانیان<sup>۲</sup>

۱. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران

۲. دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۹/۵؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۵/۲/۷)

### چکیده

در این مقاله روابط انرژی کل، بهره انرژی و شعاع لکه داغ در مدل ناهم فشار به طور نیمه تحلیلی محاسبه و با محاسبات عددی ارائه شده توسط اشمیت (۲۰۱۰) برای گداخت هسته‌ای به روش افروزش شوکی مقایسه و نشان داده شده است که تقریب‌های به کار رفته توسط روزن (۱۹۸۳) و اشمیت (۲۰۱۰) برای محاسبه بازدهی سوختن در مقایسه با نتایج محاسبات عددی از دقت بالایی برخوردار نیستند و همچنین روابط به دست آمده نمی‌توانند به صورت یگانه پارامترهای مدل ناهم فشار را تعیین کنند. سپس با معرفی تقریب‌های مناسب‌تری روابط نیمه تحلیلی بهبود یافته‌ای برای مدل ناهم فشار ارائه می‌شود که نتایج آن از سازگاری بهتری با محاسبات عددی اشمیت برای افروزش شوکی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مدل ناهم فشار، افروزش شوکی، افروزش سریع - شوکی

### ۱. مقدمه

مدل ناهم فشار در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط روزن [۱] و دیگران، برای تعمیم مدل هم فشار [۲] و توصیف تحلیلی رفتار بهره انرژی و سایر ویژگی‌های هدف متراکم شده در فرایند گداخت محصور سازی لختی ارائه شد. مدل نیمه تحلیلی روزن در حالت‌های حدی به مدل هم حجم [۳] و مدل هم فشار تقلیل می‌یابد. سادگی مدل ناهم فشار برای تحلیل قابل قبول نتایج حاصل از گداخت لختی صرف نظر از فرایندهای پیچیده حاکم بر این سازوکار پس از متراکم شدن سوخت تا مرحله ایستایی<sup>۱</sup> و سپس افروزش درخور توجه است. نشان داده

شده است که برای سازوکار افروزش شوکی [۴]، رفتار هدف تا اندکی قبل از مرحله افروزش با رویکرد ناهم فشار قابل تحلیل است [۵ و ۶]. از این روی اخیراً مدل ناهم فشار برای توصیف تحلیلی افروزش شوکی [۷ و ۸] و افروزش سریع - شوکی [۹-۱۴] به کار رفته است. در پژوهش حاضر، ابتدا رفتار پارامترهای مدل ناهم فشار حاصل از روابط ارائه شده توسط اشمیت و نتایج کد ۱ بعدی ارائه شده توسط وی [۷] برای بهره انرژی، حداقل شعاع لکه داغ و چگالی سطحی کل سوخت مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس حوزه اعتبار تقریب روزن برای محاسبه کسر سوختن<sup>۲</sup>  $\theta$

۲. Burn up Fraction

۱. Stagnation

جدول ۱. کمیت‌های به کار رفته و مقادیر محاسبه شده برای مدل ناهم فشار.

$M_f (mg)$	۰٫۲۶	۰٫۵۲	۱٫۳۱	۲٫۰۹	۴٫۱۹
$\alpha_s$ (مرجع ۷)	۲٫۰	۲٫۰	۱٫۹	۱٫۷	۱٫۸
$E_L (kJ)$ (مرجع ۷)	۲۳۰	۳۹۰	۷۲۷	۱۰۷۴	۱۷۰۰
$\xi_i$ (مرجع ۷)	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۲۱	۰٫۱۳	۰٫۲
$R_h^s (\mu m)$ (مرجع ۷)	۱۳٫۵	۱۶٫۵	۲۱٫۴	۳۲٫۸	۲۲
$\rho R (g cm^{-2})$ (مرجع ۷)	۲٫۴	۲٫۹	۳٫۴	۳٫۴	۴٫۰
$\beta \gamma \varepsilon_E$	۰٫۴۲۰	۰٫۳۸۱	۰٫۲۸۵	۰٫۳۱۷	۰٫۲۱۵
$\eta$ (%)	۶٫۷۴	۶٫۷۹	۶٫۶۱	۶٫۵۸	۶٫۲۸
$\rho_c^{opt} (g.cm^{-3})$	۸۲۸	۶۵۸	۴۹۰	۴۰۶	۲۹۲
$G_T$ مدل نیمه تحلیلی	۱۰۹	۱۳۹	۲۰۳	۲۳۲	۳۰۵
$G_T^s$ مدل ناهم فشار مرجع ۷	۱۱۲	۱۳۸	۱۸۸	۲۲۳	۲۶۷
$G_{code}$ نتایج کد یک بعدی مرجع ۷	۱۰۱	۱۴۳	۲۱۰	۲۴۳	۳۰۹

داغ  $E_h$  بستگی دارد. محاسبه ضریب  $\eta$  به کمک تعریف ماتریس جفت شدگی  $M$  برای بهره جفت شدگی انرژی باریکه محرک متراکم کننده  $E_{dc}$  و باریکه افروزنده سوخت  $E_{ig}$  با انرژی سوخت متراکم شده و انرژی لکه داغ انجام شده است. مقادیر به دست آمده برای مولفه‌های  $M$  به روش عددی و نسبت  $\xi_i = E_{ig} / E_L$  طبق روابط (۲) و (۳) صورت می‌گیرد [۷].

نتایج محاسبه شده برای  $\eta$  در جدول ۱ آمده است.

$$\begin{bmatrix} E_h \\ E_c \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} E_{ig} \\ E_{dc} \end{bmatrix}; \quad M = \begin{bmatrix} \varepsilon_{hi} & \varepsilon_{hc} \\ \varepsilon_{ci} & \varepsilon_{cc} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\eta = (E_c + E_h) / E_L = \varepsilon_{hc} + \varepsilon_{cc} + \xi_i [\varepsilon_{hi} + \varepsilon_{ci} - (\varepsilon_{hc} + \varepsilon_{cc})]. \quad (3)$$

در رابطه (۲)،  $\varepsilon_{hi}$  بهره جفت شدگی انرژی محرک افروزنده به لکه داغ،  $\varepsilon_{hc}$  بهره جفت شدگی انرژی محرک متراکم کننده به لکه داغ،  $\varepsilon_{ci}$  بهره جفت شدگی انرژی محرک افروزنده به سوخت سرد و  $\varepsilon_{cc}$  بهره جفت شدگی انرژی محرک متراکم کننده به سوخت سرد می‌باشد. اندکی قبل از افروزش، سوخت متراکم شده سرد به ضخامت  $R_c - R_h$ ، چگالی  $\rho_c$  و جرم  $M_c \approx M_f$ ، با لکه داغ و پر فشار مرکزی با شعاع  $R_h$  و چگالی  $\rho_h$  در حال تعادل است. در مدل ناهم فشار ۴ پارامتر  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\varepsilon$  به ترتیب انرژی سوخت متراکم شده  $E_c = 0.32 \alpha M_c \rho_c^{0.66}$ ، چگالی سطحی و دمای بهنجار

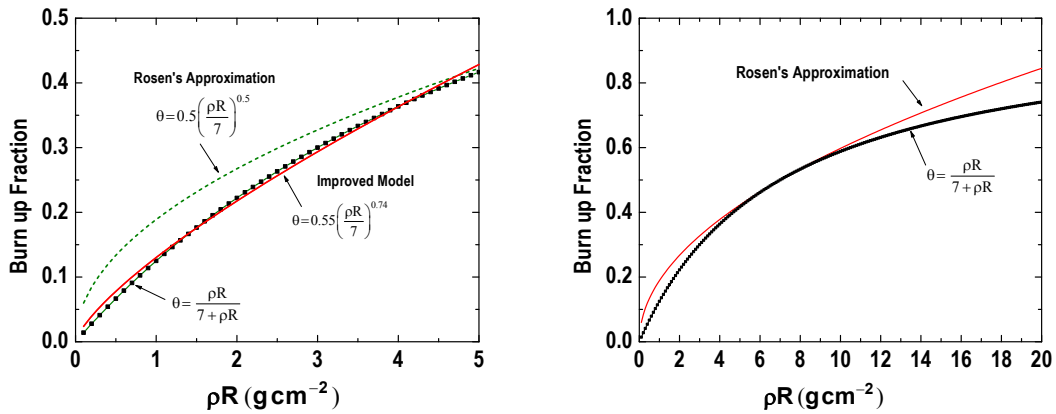
بررسی می‌شود و تقریب دقیق تری در گستره مورد نظر برای چگالی سطحی کل تا ۵ گرم بر سانتی متر مربع برای محاسبه بهره هدف مورد نظر قرار گرفته و رابطه دقیق تری برای بهره هدف به دست می‌آید که سازگاری بهتری با محاسبه عددی اشمیت برای رویکرد افروزش شوکی از خود نشان می‌دهد.

## ۲. روش محاسبه

بهره سوخت ناشی از گداخت یک ریزه کره حاوی  $M_f$  میلی گرم از سوخت متراکم شده  $DT$  به شعاع  $R_c$  و چگالی سطحی کل  $\rho R (g cm^{-2})$  با رابطه (۱) داده می‌شود [۷ و ۱۵].

$$G_F = \frac{q_f M_f \theta}{E_{total}}. \quad (1)$$

بهره هدف  $G_T$  که کمیت مهم تری است به صورت  $G_T = \eta G_F$  به ضریب جفت شدگی انرژی باریکه لیزر به سوخت  $\eta$  وابسته است [۱۵]. در رابطه (۱)،  $q_f = 335 (MJ / mg)$ ، انرژی ناشی از گداخت ۱ میلی گرم سوخت  $DT$  است و کسر سوختن به صورت  $\theta = \rho R / (\gamma + \rho R)$  به چگالی سطحی کل مربوط می‌شود.  $E_{total} (kJ) = E_c + E_h$  انرژی کل سوخت و  $E_L (kJ) = E_{ig} + E_{dc} = E_{total} / \eta$  انرژی کل محرک‌های لیزری است که توسط  $\eta$  به انرژی سوخت متراکم شده  $E_c$  و انرژی لکه



شکل ۱. چگونگی رفتار تقریب روزن و تقریب به کار رفته در مدل بهبود یافته برای کسر سوختن به چگالی سطحی کل.

دست آمده برای  $\rho R \leq 5$  ( $g\ cm^{-2}$ ) که برای محاسبات عددی و مدل ناهم فشار مورد نظر است در شکل ۱ نشان داده شده است.

$$\theta = \begin{cases} 0.55(\rho R / 7)^{0.74} & ; \quad 0 < \rho R \leq 5 \quad (g\ cm^{-2}) \\ 0.5(\rho R / 7)^{0.5} & ; \quad 5 < \rho R \leq 10 \quad (g\ cm^{-2}) \\ 0.53(\rho R / 7)^{0.327} & ; \quad 10 < \rho R \leq 20 \quad (g\ cm^{-2}) \end{cases} \quad (4)$$

در مرجع [۷] با استفاده از تقریب‌های اشاره شده و قرار دادن  $\partial G_F / \partial E_c = 0$  ابتدا معادله (۵) برای  $E_{total} \approx E_c$  و سپس روابط لازم برای حداکثر بهره و همچنین شعاع لکه داغ طبق معادلات (۶) و (۷) به دست آمده است. شاخص  $s$  در این روابط به مرجع [۷]، اشمیت (۲۰۱۰) اشاره دارد.

$$E_{total}^s = 52 \alpha^{0.5} M_f^{0.83} (\beta \gamma \varepsilon)^{0.5}, \quad (5)$$

$$G_F^s = 3150 \alpha^{-0.75} M_f^{0.25} (\beta \gamma \varepsilon)^{-0.25}, \quad (6)$$

$$R_h^s = 16 \alpha^{0.25} M_f^{0.22} (\beta \gamma \varepsilon)^{-0.25}, \quad (7)$$

برای  $\beta \gamma \varepsilon$  را مطابق با کمیت های  $M_f$ ،  $\alpha$ ،  $E_{total}^s \approx \eta E_L$ ،  $G_F^s$  و  $R_h^s$  ارائه شده توسط اشمیت برای اجرای محاسبات کد ۱ بعدی هیدرودینامیکی نشان می‌دهد.  $\beta \gamma \varepsilon_E$ ،  $\beta \gamma \varepsilon_{Rh}$  و  $\beta \gamma \varepsilon_G$  به ترتیب به مقادیر کمیت  $\beta \gamma \varepsilon$  ناشی از روابط (۵) تا (۷) اشاره دارند. نمودارهای شکل ۲ نشان دهنده رفتاری پر از تغییرات سریع برای  $\beta \gamma \varepsilon_{Rh}$  است، اما  $\beta \gamma \varepsilon_E$  و  $\beta \gamma \varepsilon_G$  رفتاری نسبتاً هموار و نزدیک به یکدیگر از خود نشان می‌دهند.

شده لکه داغ  $\rho_h R_h = 0.3 \beta$ ،  $T_h = 5 \gamma$  و نسبت فشار سوخت متراکم شده به فشار لکه داغ  $\varepsilon = P_c / P_h$  را به دست می‌دهند.

در مراجع [۱] و [۷] از دست کم دو تقریب عمده

$E_{total} \approx E_c \gg E_h$  و  $\theta = 0.5 \sqrt{\frac{\rho R}{\gamma}}$  به همراه روابط مدل

ناهم فشار برای محاسبه  $\rho R = \rho_h R_h + \rho_c (R_c - R_h)$  استفاده شده است. اولین تقریب با توجه به نتایج محاسبات عددی

مرجع [۷] و فرض برابری ضریب جفت شدگی انرژی باریکه‌های لیزری متراکم کننده و افروزنده سوخت  $\eta_c \approx \eta_h$

(که تقریب نسبتاً مناسبی است)، به

$(E_h / E_c) \approx E_{ig} / E_L \sim 0.2$  و خطایی در حد

$$\left| \frac{(1/E_{total}) - 1/(E_c)}{1/(E_{total})} \right| = |1 - E_{total}/E_c| = |E_h/E_c| \approx E_{ig}/E_L \sim 0.2$$

برای

$1/E_{total}$  در محاسبه بهره منجر می‌شود. نمودارهای شکل ۱ نیز

رفتار  $\theta$  را بر حسب  $\rho R$  برای تقریب به کار رفته برای کسر سوختن نشان می‌دهند. ملاحظه می‌شود که تقریب

$\theta = 0.5 \sqrt{\frac{\rho R}{\gamma}}$  تنها برای  $5 < \rho R < 10$  ( $g\ cm^{-2}$ ) از دقت

خوبی برخوردار است و در فاصله مورد نظر برای افروزش

شوکی  $2/5 < \rho R < 4$  ( $g\ cm^{-2}$ ) با خطایی از ۵ تا ۱۵ درصد

همراه است. برای کاهش خطای رابطه تقریبی برای محاسبه  $\theta$ ،

تابع  $\rho R / (7 + \rho R)$  را در ۳ حوزه  $\rho R \leq 5$  ( $g\ cm^{-2}$ )،

$5 < \rho R \leq 10$  ( $g\ cm^{-2}$ ) و  $10 < \rho R \leq 20$  ( $g\ cm^{-2}$ ) به دقت به

کمک تابع توانی، مطابق با رابطه (۴) برآزش کردیم. نتایج به

معادله (۸) به رابطه (۹) برای انرژی کل منجر می شود

$$E_{total}^{opt}(kJ) = 47\alpha^{0.5} M_f^{0.83} (\beta\gamma)^{0.5} \varepsilon^{0.33} \quad (9)$$

چگالی سطحی کل سوخت  $\rho R = \rho_h R_h + \rho_c (R_c - R_h)$  را نیز می توان با استفاده از رابطه موجود برای جرم پوسته کروی فشرده شده سوخت  $M_c = \rho_c 4\pi / 3 (R_c^3 - R_h^3)$ ، شعاع لکه داغ  $R_h = 1/6 \varepsilon \beta \gamma P_c^{-1}$  و نگارش  $M_c$  و  $\rho_c$  بر حسب فشار و انرژی سوخت متراکم شده و استفاده از  $R_c \gg R_h$  برای بسط رابطه حاصل برای  $R_c$ ، به صورت زیر، رابطه (۱۰) نوشت

$$\rho R = 0.45 (\eta E_L)^{0.33} \alpha^{-0.6} P_c^{0.27} - 47 \varepsilon \beta \gamma \alpha^{-0.6} P_c^{-0.4} + 0.3 \beta \quad (10)$$

برای استفاده بهتر و دقت بیشتر، رابطه (۱۰) را بر حسب تابع توانی بر حسب  $\eta E_L$ ،  $\alpha$ ،  $\beta \gamma \varepsilon_G$  و  $P_c$ ، به صورت رابطه (۱۱)، متناظر با مقادیر  $\rho R$  حاصل از نتایج کد محاسباتی مرجع ۷ برازش می کنیم. مقدار  $P_c$  بر حسب  $E_c \approx \eta E_L$  نیز با حذف میان  $\rho_c = 0.32 \alpha M_c \rho_c^{0.66}$  و  $E_c = 0.2 \times 10^{-3} \alpha \rho_c^{0.3}$  به دست می آید.

$$\rho R \approx 0.18 (\eta E_L)^{0.33} \alpha^{-0.6} P_c^{0.34} (\varepsilon \beta \gamma)^{-0.28} \quad (11)$$

با قرار دادن رابطه (۸) و (۹)، در رابطه (۱۱)، چگالی سطحی کل به صورت معادله (۱۲) نوشته می شود:

$$\rho R_{opt} = 4.73 \alpha^{-0.52} M_f^{0.14} (\beta\gamma)^{0.31} \varepsilon^{0.11}; \quad (12)$$

$$0 < \rho R \leq 5 \text{ (g cm}^{-2}\text{)}.$$

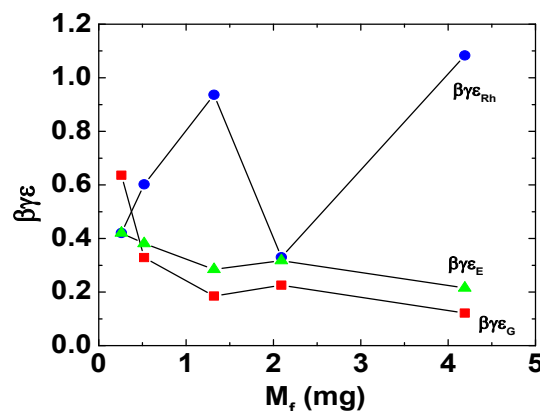
اکنون با استفاده از رابطه (۱)، (۴)، (۹) و (۱۲)، بهره هدف برای  $\rho R \leq 5 \text{ (g cm}^{-2}\text{)}$  طبق رابطه (۱۳) به دست می آید. شعاع لکه داغ نیز به ازای  $P_c^{opt}$  با رابطه (۱۴) داده می شود.

$$G_T = 3418 \eta M_f^{0.27} \alpha^{-0.88} (\beta\gamma)^{-0.27} \varepsilon^{-0.25}; \quad (13)$$

$$0 < \rho R \leq 5 \text{ (g cm}^{-2}\text{)}$$

$$R_h (\mu\text{m}) = 32 \alpha^{0.25} M_f^{0.42} (\beta\gamma)^{-0.25} \varepsilon^{0.17} \quad (14)$$

جدول ۲ روابط مربوط به انرژی کل، بهره هدف، شعاع لکه داغ و فشار بهینه سوخت متراکم شده را برای مدل ناهم فشار و مدل بهبود یافته نشان می دهد.



شکل ۲. رنگی در نسخه الکترونیکی رفتار محاسبه شده از روابط

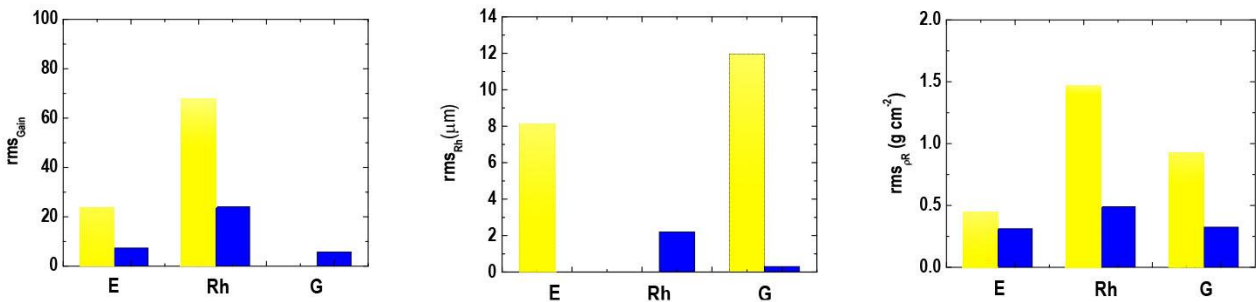
(۵) تا (۷) برای حاصل ضرب  $\beta\gamma\varepsilon$  بر حسب جرم هدف.

برای بهبود دقت رابطه (۷) برای بهره سوخت می توان طبق معادله (۴) از رابطه  $\theta = 0.55 (\rho R / \nu)^{0.4}$  برای  $\rho R \leq 5 \text{ (g cm}^{-2}\text{)}$  و سایر تقریب های به کار رفته در مرجع ۷ برای محاسبه  $\partial G_T / \partial E_c = 0$  استفاده کرد، اما متأسفانه این روش و بسط رابطه حاصل از محاسبه  $\partial G_T / \partial E_c$  و کنار گذاشتن جمله حاوی پارامتر چگالی سطحی لکه داغ  $\beta$ ، به رابطه  $G_T = 5572 \alpha^{-0.87} M_f^{0.29} (\beta\gamma\varepsilon)^{-0.13}$  و  $E_{total} \approx 1/5 E_{total}^s$  با دقتی کمتر از روابط (۵) و (۶) منجر می شود. برای دستیابی به رابطه دقیق تر از رویکرد کمینه سازی انرژی کل سوخت نسبت به فشار سوخت متراکم شده استفاده می کنیم که در مرجع [۷] به اختصار به آن اشاره شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهند که روابط حاصل از این روش به همراه رابطه تصحیح شده (۴)، به مقادیری سازگارتر با محاسبات عددی منجر می شوند. انرژی کل سوخت متراکم شده برابر است با  $E_{total} = E_c + E_h$  و انرژی لکه داغ با فرض معادله حالت گاز ایده آل به صورت  $R_h = 1/6 \varepsilon \beta \gamma P_c^{-1}$  است که در آن  $E_h (kJ) = 10^6 \beta \gamma R_h^2$  می باشد [۸]. در این صورت با توجه به رابطه موجود برای فشار گاز الکترونی تیگن برای سوخت متراکم شده در مدل ناهم فشار  $P_c (Gbar) = 2.2 \times 10^{-3} \alpha \rho_c^{0.3}$  و قرار دادن  $\partial E_{total} / \partial P_c = 0$  فشار بهینه  $P_c^{opt}$ ، طبق معادله (۸) برای حداقل انرژی کل به دست می آید

$$P_c^{opt} = 53 \alpha M_f^{-0.42} \alpha^{-0.25} (\beta\gamma)^{0.25} \varepsilon^{0.83} \quad (8)$$

جدول ۲. روابط مدل فشار برای حداکثر بهره و مدل ناهم فشار بهبود یافته برای حداقل انرژی کل بر حسب جرم هدف.

کمیت	مدل ناهم فشار (مرجع ۷)	مدل ناهم فشار بهبود یافته
$E_{total} (kJ)$	$52 \alpha^{0.5} M_f^{0.83} (\beta \gamma \varepsilon)^{0.5}$	$47 \alpha^{0.5} M_f^{0.83} (\beta \gamma)^{0.5} \varepsilon^{0.33}$
$G_F$	$3150 \alpha^{-0.75} M_f^{0.25} (\beta \gamma \varepsilon)^{-0.25}$	$3418 \alpha^{-0.88} M_f^{0.27} (\beta \gamma)^{-0.27} \varepsilon^{-0.25}$
$R_h (\mu m)$	$16 \alpha^{0.25} M_f^{0.42} (\beta \gamma \varepsilon)^{-0.25}$	$32 \alpha^{0.25} M_f^{0.42} (\beta \gamma)^{-0.25} \varepsilon^{0.17}$
$P_c^{opt} (Gbar)$	$705 M_f^{-0.42} \alpha^{-0.25} (\beta \gamma \varepsilon)^{0.25}$	$530 M_f^{-0.42} \alpha^{-0.25} (\beta \gamma)^{0.25} \varepsilon^{0.83}$



شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) مقایسه اختلاف میانگین ریشه دوم مجموع مربعات (rms) نتایج مدل ناهم فشار از داده‌های حاصل از کد ۱D مرجع ۷ (ستون هاشور خورده)، و تفاوت rms مدل ناهم فشار بهبود یافته با نتایج عددی کد یک بعدی مذکور (ستون پر) برای بهره هدف، شعاع لکه داغ و چگالی سطحی کل سوخت برای سه رویکرد محاسباتی E، Rh و G.

مدل نیمه-تحلیلی برای روش افروزش سریع-شوکی

[۹، ۱۴] استفاده کرد، زیرا سازوکار افروزش ترکیبی تا قبل از افروزش سوخت متراکم شده تا حد زیادی از رویکرد مدل ناهم فشار پیروی می‌کند. در شکل ۳، اختلاف ریشه دوم میانگین مجموع مربعات<sup>۱</sup> تفاوت‌های نتایج مدل ناهم فشار از کد یک بعدی مرجع [۷]، و همچنین تفاوت‌های مدل ناهم فشار بهبود یافته از کد محاسباتی مذکور برای بهره هدف، شعاع لکه داغ و چگالی سطحی کل سوخت برای پنج جرم متفاوت سوخت مطابق با جدول ۱ و سه رویکرد محاسباتی E، Rh و G ارائه شده است (برای مثال بهره rms مرتبط با بهره هدف به صورت

$$\frac{1}{5} \sqrt{\sum_{j=1}^5 [G_j^{code} - G_{T_j}^s]^2}$$

می‌دهند که مدل بهبود یافته از سازگاری به مراتب بهتری با داده‌های محاسبات عددی برخوردار است.

### ۳. نتایج و بحث

بررسی روابط نیمه تحلیلی بهبود یافته مدل ناهم فشار نشان می‌دهد که نمای پارامتر  $\varepsilon$  با نمای  $\beta\gamma$  متفاوت است. بنابراین می‌توان با استفاده از نتایج محاسبات عددی،  $\varepsilon$  و  $\beta\gamma$  را به دست آورد. برای این منظور ابتدا  $\varepsilon$  را با حذف  $\beta\gamma$  میان رابطه (۹) برای انرژی کل و رابطه (۱۴) برای اندازه لکه داغ به دست آورده و سپس از آن برای محاسبه  $\beta\gamma$  به ترتیب از طریق رابطه انرژی، بهره و شعاع لکه داغ استفاده می‌کنیم که نتایج آن در شکل ۳ آمده است. برای محاسبه سهم چگالی سطحی لکه داغ  $\rho_h R_h$  در مدل ناهم فشار، با توجه به نامعلوم بودن مقدار دقیق  $\beta$ ، و کوچک بودن سهم  $\rho_h R_h$  در محاسبه  $\rho R$  از تقریب  $\beta=1$  استفاده شده است. نمودارها نشان می‌دهند که صرف نظر از چگونگی انتخاب روابط و محاسبه  $\beta\gamma$  و  $\beta\gamma\varepsilon$ ، نتایج به دست آمده از مدل بهبود یافته از سازگاری و همبستگی بیشتری با محاسبات کد ۱ بعدی نسبت به نتایج حاصل از مدل کلاسیک ناهم فشار روزن و اشمیت برخوردار هستند. همچنین به نظر می‌رسد که بتوان از مدل ارائه شده برای افزایش دقت

۱. Root mean squares (rms)

## مراجع

- Physics Research*, 12, 4 (2013) 347.
۱۰. س. ا. قاسمی، ا. ح. فرہید، مجله پژوهش فیزیک ایران، ۱۳، ۴، (۱۳۹۲) ۳۹۷.
10. A H Farahbod and S A Ghasemi, *Iranian Journal of Physics Research*, 13, 4 (2014) 397.
11. A H Farahbod, S A Ghasemi, M J Jafari, S Rezaei and S Sobhanian, *Eur. Phys. J. D* **68** (2014) 314.
12. S A Ghasemi, A H Farahbod and S Sobhanian, *AIP Adv.* **4**, (2014) 077130.
13. S A Ghasemi and A H Farahbod, *Bulltein of the American Physical society*, APS March Meeting March 3-7 Denver, Washington Baltimore 1, **59** (2013).
14. S A Ghasemi and A H Farahbod, *Bulletin of the American Physical Society*, APS March Meeting Colorado (2014) MAR14-2013-000023.
15. S Atzeni, *Phys. Plasmas* **6**, (1999) 3316.
1. M D Rosen, J D Lindl, and A R Thiessen, LLNL *Laser Program Annual Report*, UCRL-50021-83, 3-5 (1983).
2. J Meyer-Ter-Vehn, *Nucl. Fusion* **22**, 561 (1982).
3. R Kidder, *Nucl. Fusion* **16**, 405 (1976).
4. C Zhou and R Betti, *Bull. Am. Phys. Soc.* **50**, 140 (2005).
5. R Betti, C D Zhou, K S Anderson, L J Perkins, W Theobald, and A A Solodov, *Phys. Rev. Lett.* **98**, (2007) 155001.
6. B Canaud and M Temporal, *New J. Phys.* **12**, (2010) 043037.
7. A J Schmitt, J W Bates, S P Obenschain, S T Zalesak, and D E Fyfe, *Phys. Plasmas* **17**, (2010) 042701.
8. M Lafon, X Ribeyre, and G Schurtz, *Phys. Plasmas* **17**, (2010) 052704.
۹. ا. ح. فرہید، س. ا. قاسمی، مجله پژوهش فیزیک ایران، ۱۲، ۴، (۱۳۹۱) ۳۴۷.
9. A H Farahbod and S A Ghasemi, *Iranian Journal of*