

## نقش محرک سریع در روش افروزش سریع - شوکی

سید ابوالفضل قاسمی و امیر حسین فرهد

پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران  
پست الکترونیکی: afarahbod@aeoi.org.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۸/۲۱؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۲/۱۰/۹)

### چکیده

در این مقاله نقش محرک سریع برای روش افروزش سریع - شوکی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مدل نیمه تحلیلی ارائه شده برای افروزش سریع - شوکی نشان می‌دهد که بهره هدف تابعی از طول موج لیزر افروزنده سریع است. برای محرک سریع با انرژی در حد انرژی بهینه  $E_{if}^{opt}$  و طول موج لیزر افروزنده کوتاه‌تر از ۰.۵۳ میکرون، مزیت روش افروزش سریع - شوکی برای سوخت فشرده شده با جرم در حد ۲ میلی‌گرم به صورت کاهش انرژی کل افروزش سوخت و افزایش بهره هدف، با نمایه مزیت دست کم ۱.۲ حاصل می‌شود. با کوتاه شدن طول موج محرک افروزنده سریع، حداکثر انرژی افروزش سریع به سمت  $E_{if}^{opt}$  میل می‌کند و برای طول موج لیزر کمتر از ۰.۲۵ میکرون مزیت بیشتری به دست نمی‌آید.

واژه‌های کلیدی: افروزش سریع - شوکی، افروزش سریع، افروزش شوکی، گداخت محصورسازی اینرسی

### ۱. مقدمه

سوخت به کمک محرک لیزری با پهنای زمانی در حد ۱۰ نانوثانیه و افزایش چگالی تا مرتبه  $300 \text{ gr.cm}^{-3}$ ، انتشار امواج ضربه در انتهای مرحله متراکم سازی سوخت به کمک محرک پر توان لیزر با پهنای زمانی تپ در حد ۲۰۰ پیکوثانیه و افزایش دمای لکه داغ مرکزی، و ارسال تپ کوتاه در حد ۲۰ پیکوثانیه با انرژی مناسب برای ایجاد لکه داغ کناری جهت تکمیل فرآیند افروزش سوخت، با تأخیر زمانی مناسب نسبت به یکدیگر [۱]. مدل نیمه تحلیلی ارائه شده در مرجع [۱] برای افروزش سریع - شوکی مزیت حاصل از اجرای این روش را بر حسب سهم محرک شوکی،  $\chi_s$ ، نشان می‌دهد.  $\chi_s$  به صورت نسبت انرژی محرک شوکی در روش ترکیبی،  $E_{is}$ ، به انرژی افروزنده در روش افروزش شوکی، نیز  $E_{is}^{pure}$ ، تعریف شده است. سهم محرک افروزنده سریع،  $\chi_f$ ، نیز

مفهوم افروزش سریع - شوکی<sup>۱</sup> اخیراً به منظور کاستن از انرژی افروزش برای گداخت محصور سازی اینرسی و دستیابی به بهره انرژی بیش از ۱۰۰ معرفی شده است [۱-۴]. در روش افروزش سریع - شوکی که ترکیبی از دو روش افروزش سریع و افروزش شوکی است، برخلاف افروزش سریع [۵-۹] و افروزش شوکی [۱۳]، افروزش سوخت متراکم شده در دو مرحله و هر مرحله با انرژی محرک افروزنده کمتر از انرژی لازم برای آغاز اشتعال مؤثر سوخت متراکم شده انجام می‌شود. در مجموع روش ترکیبی افروزش سریع - شوکی از سه مرحله تشکیل شده است: تراکم

۱. Fast-shock ignition

کل افروزش  $E_{ifs}$  و نمایه مزیت روش افروزش سریع- شوکی به طول موج به کمک مدل نیمه تحلیلی مرجع [۱] ارائه خواهد شد و سپس نتایج به دست آمده مورد بحث قرار خواهند گرفت.

## ۲. نقش طول موج محرک افروزنده سریع

برای هر دو سازوکار افروزش سریع و افروزش شوکی، مقدار انرژی لازم برای مترامک نمودن سوخت،  $E_{cd}$ ، تا چگالی  $\rho_c$ ، تابعی از طول موج محرک مترامک کننده  $\lambda_c$  است [۶-۹]. محاسبات مرجع [۵] نشان می‌دهند که  $E_{if}^{pure}$  یا انرژی افروزنده سریع در روش افروزش سریع علاوه بر چگالی سوخت مترامک شده  $\rho_c$ ، تابعی از طول موج محرک سریع لیزری  $\lambda_{if}$  نیز می‌باشد.  $E_{is}^{pure}$  نیز تابعی از طول موج محرک شوکی  $\lambda_{is}$  است. بدین ترتیب بهره هدف تعریف شده در مرجع [۱] برای سازوکار افروزش سریع- شوکی،  $G_{fs}$ ، طبق رابطه (۱) تابعی از طول موج محرک‌های لیزری است

$$G_{fs}(\lambda_c, \lambda_{is}, \lambda_{if}) = \frac{G_{fs}^{max}(\lambda_c, \lambda_{is}, \lambda_{if})}{1 + \frac{\chi_s E_{is}(\lambda_{is})}{E_{cd}(\lambda_c)} + \frac{\chi_f E_{if}(\lambda_{if})}{E_{cd}(\lambda_c)}} \quad (1)$$

بستگی  $E_{if}$  به  $\lambda_{if}$  برای افروزش سریع سوخت به کمک باریکه‌های الکترونی- نسبیته و به ازای برد  $0.3 \leq R \leq 1/2$  (g.cm<sup>-2</sup>) برای الکترون‌های سریع با رابطه (۲)

داده می‌شود [۸]

$$E_{if}(\lambda_{if}) = \max(E_1, E_2(\lambda_{if})) \quad (2)$$

$$E_2 = 1120(\hat{\rho}_c)^{-0.9} \left[ \frac{1/2 f_R \hat{\lambda}_{if}}{R_0 \hat{\eta}_{if}} \right]^2 \text{ (kJ)},$$

$$E_1 = \frac{560}{(\hat{\eta}_{if})} (\hat{\rho}_c)^{-1/85} \times \max(1, \frac{r_b}{r_{opt}}) \text{ (kJ)}$$

ارتباط انرژی محرک و انرژی لکه داغ  $E_{hf}$  ناشی از محرک سریع برابر است با  $E_{if} = E_{hf} / \eta_{if}$ . ضریب جفت شدگی باریکه‌های محرک سریع با سوخت است.  $R_0$  حد بالای برد الکترون‌ها در سوخت و ضریب  $f_R$  در حد یک است.

$$\hat{\lambda}_{if} = \frac{\lambda_{if} (\mu\text{m})}{1.06} \text{ و } \hat{\eta}_{if} = \frac{\eta_{if}}{0.25}, \hat{\rho}_c = \frac{\rho_c (\text{g.cm}^{-3})}{100}$$

به نحو مشابهی به صورت نسبت انرژی محرک سریع برای روش ترکیبی،  $E_{if}$ ، به حداقل انرژی لازم برای محرک سریع در روش افروزش سریع  $E_{if}^{opt}$  تعریف می‌شود.

یکی از نکات مهم و اساسی برای اجرای روش افروزش سریع- شوکی، غلبه بر واگرایی باریکه‌های الکترون‌های سریع درون سوخت است. شبیه‌سازی‌های عددی و مشاهدات تجربی [۵] و [۶] نشان می‌دهند که الکترون‌های نسبیتی درون سوخت دارای زاویه واگرایی متوسط از مرتبه  $\theta = 10-50^\circ$  است. در این صورت شعاع باریکه الکترونی با واگرایی  $\theta = 30^\circ$  و شعاع اولیه  $20 \mu\text{m}$  پس از طی  $100 \mu\text{m}$  درون سوخت با چگالی  $300 \text{ g cm}^{-3}$  به  $80 \mu\text{m}$  افزایش می‌یابد که اجرای روش افروزش ترکیبی را ناموفق می‌گذارد. یک راهکار مؤثر برای کنترل واگرایی باریکه الکترونی در روش افروزش ترکیبی، استفاده از روش پیشنهادی اخیر چاولا است [۷]. مشاهدات تجربی چاولا نشان می‌دهد که می‌توان واگرایی باریکه الکترونی را با طراحی مناسب و استفاده از یک هدف چند لایه، متشکل از دو یا سه لایه نازک فلزی در حد یک میکرون و با عدد اتمی متوسط و بالا نظیر لایه‌های نازک آلومنیوم و طلا در حد مورد نیاز کاهش داد. در واقع تشکیل میدان‌های مغناطیسی تولید شده در هدف با پوشش فلزی با عدد اتمی بالا از واگرایی باریکه الکترون‌های سریع می‌کاهد و سبب می‌شود که جذب بخش مهمی از انرژی الکترون‌های سریع با انرژی اولیه در حد 5 MeV در ناحیه کوچکی درون سوخت سرد مترامک و نزدیک لکه داغ مرکزی صورت گیرد [۴]. در این مقاله سایر نکات مهم، نظیر چگونگی انتشار باریکه لیزر برای محرک سریع در پلاسماهای تاج هدف فشرده شده و راهکارهای مرتبط با غلبه بر انحراف کانال حفر شده در تاج به کمک باریکه لیزر، محاسبه برد و نفوذ الکترون‌ها و مقدار جذب انرژی باریکه الکترون‌های سریع در سوخت مترامک شده و تأثیر آن بر کارایی روش افروزش سریع- شوکی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد [۴].

در این مقاله نقش طول موج محرک سریع لیزری در کارایی فرآیند افروزش سریع- شوکی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا روابط لازم برای بستگی بهره هدف، انرژی

$$\int_0^{R_c} \rho dr = \int_0^{R'_c} \rho_c dr + \int_0^{R'_{hs}} \rho'_{hs} dr + \int_0^{R'_{hf}} \rho_c dr. \quad (4)$$

کمیت‌های  $R'_{hs}$ ،  $R'_{hf}$ ، و  $\rho'_{hs}$  به ترتیب متناظر با شعاع لکه‌های داغ سازوکارهای سریع و شوکی و چگالی لکه داغ به ازای انرژی  $\chi_f E_{hf}$  و  $\chi_s E_{hs}$  می‌باشد. شعاع سوخت  $R_c$  متراکم شده و  $q_f = 335 \text{ (MJ/mg)}$  مقدار انرژی آزاد شده بر واحد جرم به ازای سوختن مخلوط  $50:50$  سوخت  $D-T$  در طی واکنش گداخت، و  $M_f$  جرم سوخت است. برای یافتن مقادیر مناسب  $\chi_f$  و  $\chi_s$  ضروری است تا  $\rho_c^{\min}$  معلوم باشد. برای یافتن  $\rho_c^{\min}$ ، از شرط  $\partial E_L / \partial P_c$  در مدل ناهم‌فشار برای یافتن حداقل انرژی محرک لیزر نسبت به فشار سوخت متراکم

شده  $P_c$  استفاده شده است [۱]

$$\rho_c^{\text{opt}} = 301,5 \alpha^{-0,75} (\beta \gamma)^{0,75} \varepsilon^{0,5} (\eta_{hs} / \eta_c)^{-0,5913} \times M_f^{-0,25} \text{ (g.cm}^{-3}\text{)}, \quad (5)$$

$\eta_{hs}$  و  $\eta_c$  به ترتیب ضریب جفت شدگی محرک‌های سریع شوکی و متراکم کننده با سوخت می‌باشند. ضرایب مدل ناهم‌فشار  $\beta$  و  $\gamma$ ،  $\varepsilon$  به نحوی تنظیم شده‌اند تا رفتار بهره انرژی هدف بر حسب انرژی محرک لیزر کمترین تفاوت را با مقادیر حاصل از محاسبات عددی مرجع [۱۳] داشته باشد. ضریب آدیاباتیک  $\alpha$  مطابق با محاسبات افروزش شوکی انتخاب شده است [۱۳].

برای آستانه افروزش ترکیبی با انرژی  $E_{if} \leq E_{if}^{\text{opt}}$  ارتباط

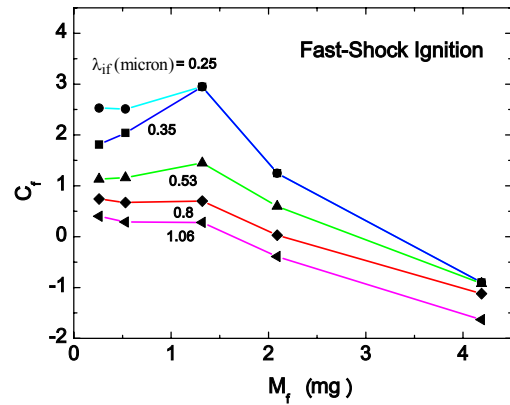
میان  $\chi_f$  و  $\chi_s$  طبق رابطه (۶) است [۱]

$$\chi_f + 7,539 \times 10^5 (\beta \gamma)^3 \varepsilon^2 \alpha^{-2} (\rho_c^{\min})^{-1,483} \chi_s = 1. \quad (6)$$

برای  $E_{if} > E_{if}^{\text{opt}}$  شرط آستانه برای افروزش ترکیبی با رابطه (۷) داده می‌شود [۱]

$$\left( \frac{E_{hf}^{\text{opt}}}{\eta_{if} E_{if}} \right) \chi_f + \left( \frac{(E_{ho} + (E_{hs} - E_{ho}) \chi_s)}{E_{hs}} \right) \chi_s = 1 \quad (7)$$

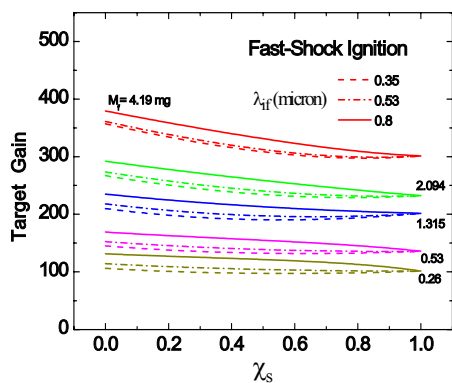
در این حالت  $\chi_f$  می‌تواند بزرگ‌تر از یک باشد (شکل ۳).  $E_{ho}$  انرژی لکه داغ مرکزی است که طی فرآیند فشردن سوخت پدید می‌آید [۱]. نقش عدم تقارن و کرویت لکه داغ ترکیب شده از لکه داغ مرکزی و لکه مربوط به محرک سریع به صورت شعاع لکه داغ  $R'_{hs}$  و شعاع سوخت  $R'_c$  تصحیح شده به صورت  $R'_{hf} \delta \chi_f$  و  $R'_c - R'_{hs} - C_f \chi_f \delta R'_{hf}$  در نظر



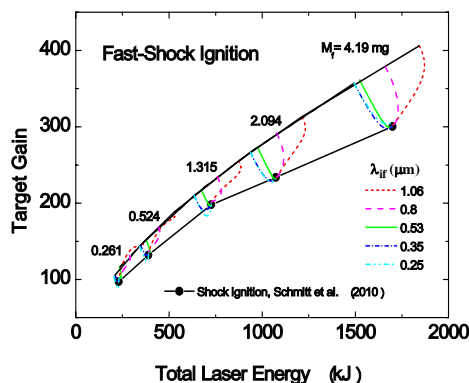
شکل ۱. رفتار ضریب تصحیحی  $C_f$  برای محاسبه چگالی سطحی و بازدهی سوختن به جرم سوخت و طول موج محرک سریع برای افروزش سریع - شوکی.

ترتیب چگالی، ضریب جفت شدگی و طول موج لیزر محرک سریع بهنجار شده می‌باشند.  $\eta_{if} = 0,25$  با میانگین مقادیر تجربی و محاسبه شده برای الکترون‌های سریع با انرژی در حد  $3 \text{ MeV}$  و چگالی  $200 \text{ g.cm}^{-3}$  سازگاری دارد [۱۵] و  $r_b$  شعاع لکه باریکه کانونی شده لیزر و  $r_{\text{opt}} = 60 \hat{\rho}_c^{-0,97} \text{ (}\mu\text{m)}$  شعاع بهینه لکه کانونی شده درون سوخت است [۸].  $E_1$  یک  $E_{if}^{\text{opt}}$  انرژی آستانه برای آغاز افروزش سریع است و به کمترین مقدار بهره انرژی به ازای  $\rho_c$  معلوم منجر می‌شود. بستگی حداکثر بهره انرژی در افروزش سریع - شوکی،  $G_{fs}^{\text{max}}$ ، به طول موج لیزر افروزنده از طریق بازدهی سوختن  $\theta_{fs}$  که تابعی از چگالی سطحی، انرژی متراکم کننده سوخت و طول موج افروزنده سریع است، که به صورت  $G_{fs}^{\text{max}} = q M_f \theta_{fs} (\lambda_{if}) / E_{cd}$  داده می‌شود. در سازوکار افروزش ترکیبی لازم است محاسبه بازدهی سوختن با انتگرال‌گیری چگالی جرم بر روی تمام اجزای سوخت از جمله لکه داغ ناشی از الکترون‌های سریع حاصل از باریکه پر توان کانونی شده لیزر طبق رابطه‌های (۳) و (۴) صورت گیرد

$$\theta_{fs}(\rho R) = \frac{\int_0^{R_c} \rho dr}{7 + \int_0^{R_c} \rho dr}, \quad (8)$$



ب



الف

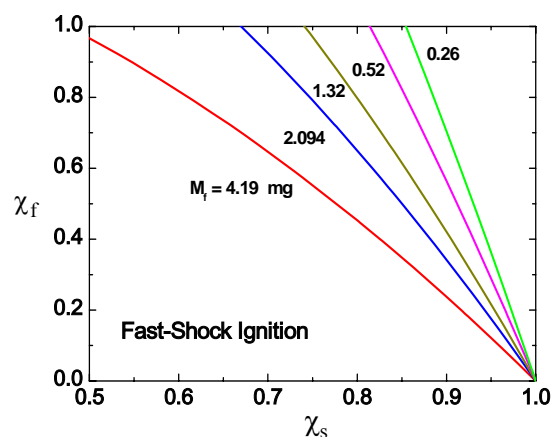
شکل ۲. بستگی بهره هدف برای افروزش سریع- شوکی به ازای مقادیر گوناگون طول موج محرک افروزنده سریع و جرم سوخت برای: (الف) انرژی کل محرک‌های لیزری، (ب) سهم سازوکار افروزش شوکی  $\chi_s$ .

$\delta = 0.5243$ ،  $0 < \chi_f < 1$  برای  $\delta \approx 1$  باشد،  $\max(\chi_f) > 1$

است.  $R'_c$  نیز به صورت  $R'_c \approx R'_{hs} + \frac{3}{4\pi} \frac{M_f}{\rho_c}$  به  $R'_{hs}$  وابسته است.

### ۳. بحث

جهت ارزیابی مدل ارائه شده در بخش ۲ و ۳، نتایج حاصل از محاسبات عددی کد هیدرودینامیکی یک بعدی مرجع ۱۰ برای افروزش شوکی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به روابط ارائه شده، با وارد کردن رابطه (۸) در رابطه (۳)، بستگی بهره سوختن به طول موج افروزنده سریع به دست می‌آید. هم چنین، با استفاده از بیشینه بهره انرژی در سازوکار افروزش سریع- شوکی،  $G_{fs}^{max} = qM_f \theta_{fs}(\lambda_{if}) / E_{cd}$ ، و رابطه (۱)، می‌توان بهره انرژی هدف در افروزش سریع- شوکی را به صورت تابع صریحی از طول موج لیزر افروزنده،  $G_{fs}(\lambda_{if})$ ، محاسبه نمود. تنظیم مدل برای دستیابی به مقادیر مورد نظر برای  $\rho R$  و بهره انرژی با استفاده از تغییر  $\beta$  و نسبت فشار سوخت متراکم شده به فشار لکه داغ یا همان  $\varepsilon$  صورت گرفته است. شکل ۲ (الف) ناحیه میان افروزش سریع و شوکی را نشان می‌دهد که ناحیه بین این دو منحنی ناحیه مؤثر بهره انرژی برای سازوکار افروزش سریع- شوکی برای پنج مقدار متفاوت جرم سوخت و پنج مقدار متفاوت طول موج افروزنده سریع محسوب می‌گردد.

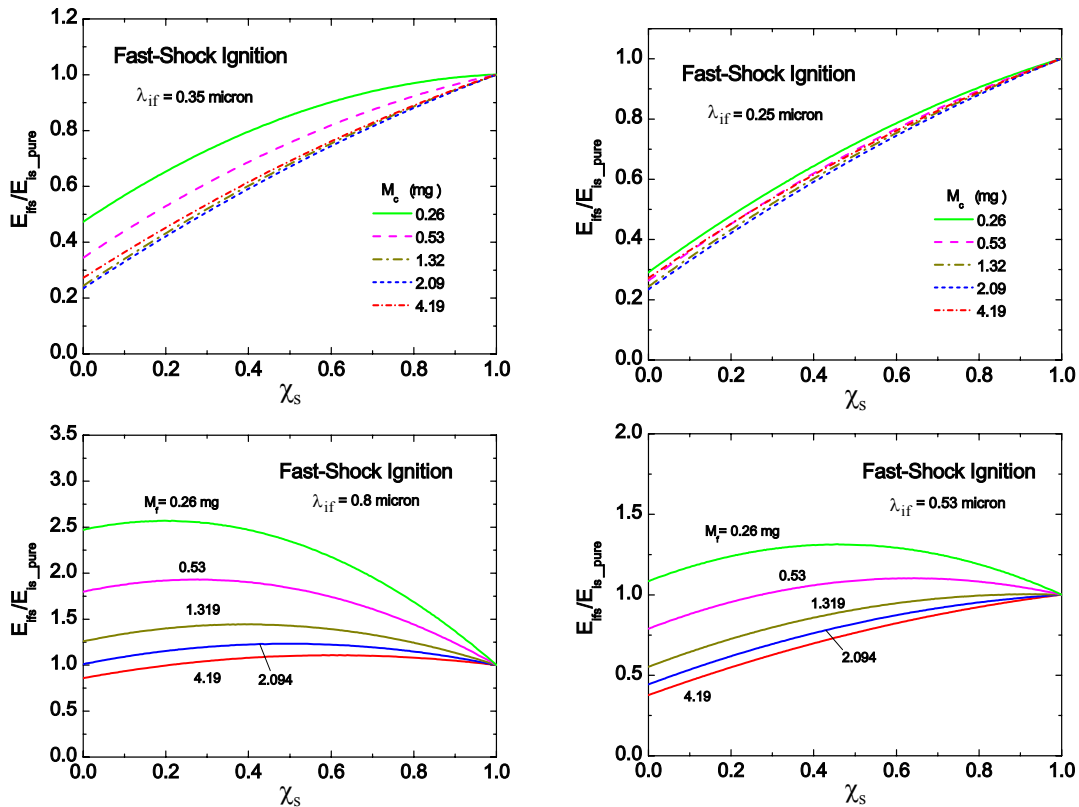


شکل ۳. چگونگی بستگی سهم محرک سریع  $\chi_s$  به نقش محرک شوکی  $\chi_f$  برای سازوکار افروزش سریع- شوکی به ازای پنج مقدار گوناگون برای جرم سوخت مطابق با رابطه (۷).

گرفته شده است، (رابطه (۸)). ضریب تصحیحی وابسته به طول موج محرک سریع  $C_f(\lambda_{if})$  به نحوی انتخاب شده است تا  $G_{fs}^{max}$  به ازای  $\chi_s = 0$  و برای هر مقدار  $M_f$  برابر با  $G_{fs}^{max}$  باشد [۱]. شکل ۱ رفتار  $C_f$  را بر حسب جرم سوخت و طول موج محرک سریع نشان می‌دهد

$$\int_0^{R_c} \rho dr = \rho_c (R'_c - R'_{hs} - C_f \chi_f^\delta R_{hf}) + 0.4\beta' + \chi_f^\delta \rho_c R_{hf} \quad (۸)$$

تحلیل ارائه شده در مرجع [۱] نشان می‌دهد که اگر



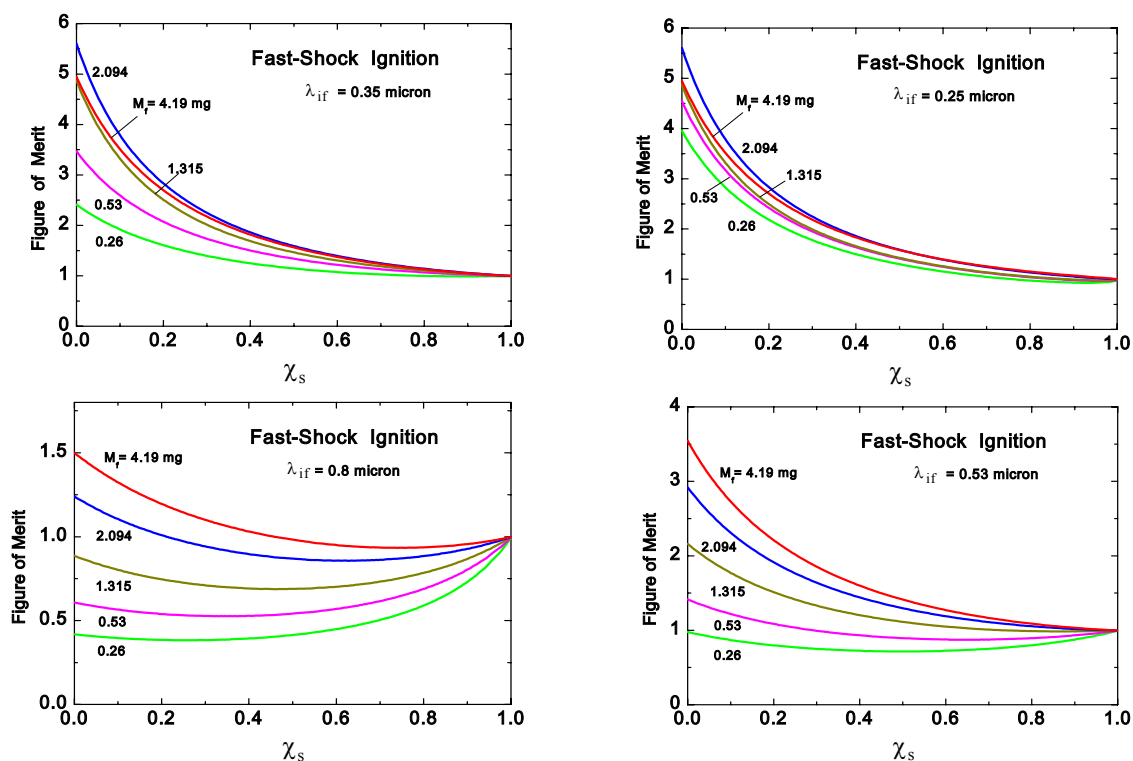
شکل ۴. رفتار نسبت انرژی افروزنده‌ها برای افروزش سریع - شوکی بر حسب سهم انرژی محرک شوکی،  $\chi_s$ ، به ازای مقادیر گوناگون جرم سوخت متراکم شده و طول موج لیزر افروزنده نشان داده شده است. انرژی بهنجار شده کل افروزنده‌ها  $E_{ifs}^{pure}$  و  $E_{ifs}$  به ترتیب انرژی افروزنده صرفاً برای سازوکار افروزش شوکی، و حداقل انرژی افروزش برای روش افروزش سریع می‌باشد.

سریع - شوکی را می‌توان با تعریف نمایه مزیت به صورت تابعی از طول موج لیزر افروزنده تعریف کرد، که عبارت است از حاصل ضرب نسبت بهره افروزش سریع - شوکی به بهره انرژی افروزش شوکی در نسبت انرژی کل افروزش شوکی به انرژی کل افروزش سریع - شوکی در نسبت انرژی افروزش در سازوکار شوکی

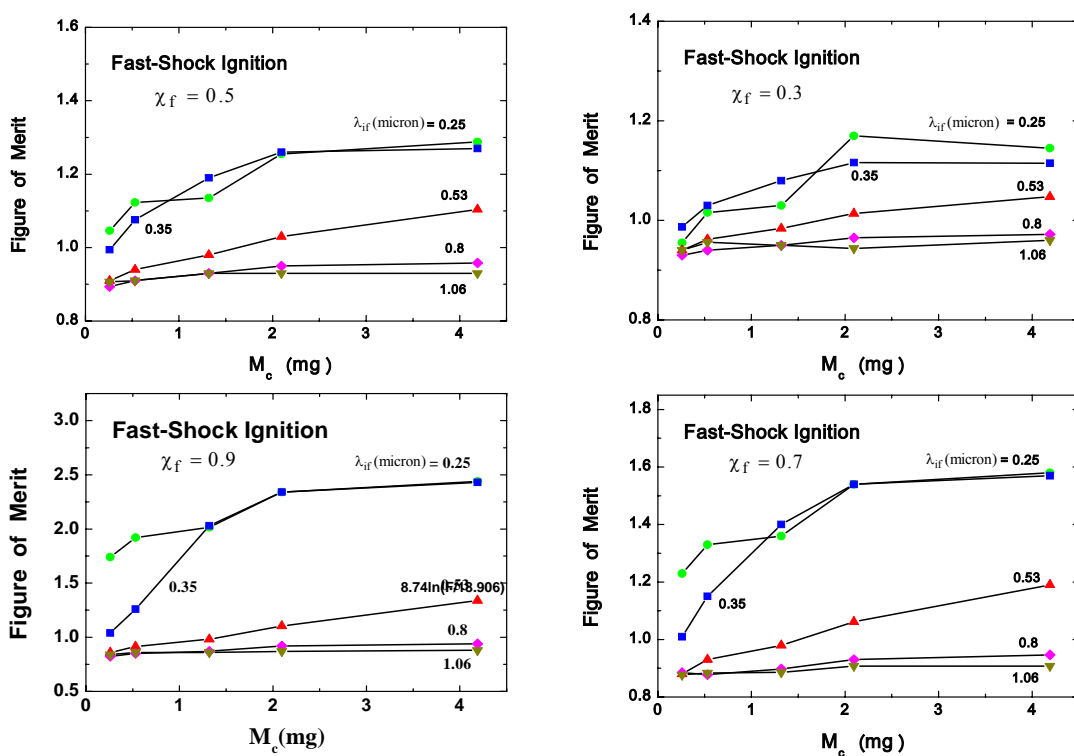
$$FM(\lambda_{if}) = \frac{G_{fs}(\lambda_{if})}{G_s} \times \frac{E_{s\_total}}{E_{fs\_total}(\lambda_{if})} \times \frac{E_{is\_pure}}{E_{ifs}(\lambda_{if})} \quad (9)$$

شکل ۵ رفتار نمایه مزیت را بر حسب  $\chi_s$  برای پنج مقدار متفاوت جرم سوخت و ۴ مقدار متفاوت طول موج افروزنده سریع نشان می‌دهد. در شکل ۶ نمایه مزیت افروزش سریع - شوکی بر حسب طول موج لیزر افروزنده به ازای ۴ مقدار ثابت عامل وزنی  $\chi_f$  نشان می‌دهد. مقادیر  $\chi_f$  به گونه‌ای انتخاب

با توجه به شکل دو می‌توان بستگی بهره انرژی هدف افروزش سریع - شوکی را به  $\chi_f$  و طول موج افروزنده سریع، درک نمود. مشاهده می‌گردد به ازای جرم سوخت بزرگ‌تر از  $M_f > 1.5 \text{ mg}$ ، هرچند این بستگی به طول موج قابل ملاحظه‌ای بر روی انرژی کل لیزر دارد، اما نقش طول موج لیزر افروزنده در نوسانات بهره انرژی بر حسب عامل وزنی افروزنده شوکی،  $\chi_s$ ، چندان محسوس نیست. بستگی بهره انرژی هدف در افروزش سریع - شوکی بر حسب فاکتور وزنی  $\chi_s$  در شکل ۲ (ب) نشان داده شده است. با کاهش طول موج لیزر افروزنده از ۰/۸ به ۰/۲۵ میکرومتر، نسبت انرژی کل افروزش در سازوکار سریع - شوکی به انرژی افروزش شوکی،  $E_{ifs} / E_{is}^{pure}$ ، به ازای عامل وزنی ثابت افروزنده سریع،  $\chi_f \approx 0.7$  برای جرم سوخت ۴/۱۹ و ۰/۲۶ میلی‌گرم به ترتیب ۱/۴ برابر و ۲/۵ برابر کاهش می‌یابد. مزیت کلی روش افروزش



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) رفتار نمایه مزیت بر حسب طول موج محرک افروزنده سریع و سهم محرک شوکی به ازای جرم سوخت متراکم شده، برای روش افروزش سریع - شوکی.



شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) رفتار نمایه مزیت برای روش افروزش سریع - شوکی به جرم سوخت متراکم شده به ازای مقادیر متفاوت از سهم محرک سریع  $\chi_f$  و طول موج محرک سریع  $\lambda_{if}$ .

## ۴. نتیجه‌گیری

محرک سریع نقش تعیین کننده‌ای در کارایی روش افروزش سریع- شوکی به عهده دارد و با تنظیم مناسب پارامترهای محرک سریع می‌توان به مزیت قابل توجهی در مقایسه با روش افروزش شوکی دست یافت. بستگی انرژی محرک سریع به طول موج یکی از عوامل اصلی سازوکار ترکیبی افروزش سریع- شوکی به شمار می‌آید. محاسبات نیمه تحلیلی نشان می‌دهد که برای طول موج‌های بلند لیزر در حد یک میکرون روش ترکیبی هیچ گونه مزیتی به همراه ندارد. با کوتاه شدن طول موج محرک سریع انرژی محرک سریع به سمت  $E_{if}^{opt}$  میل می‌کند، در این حال می‌توان با انرژی کمتر از  $E_{if}^{opt}$  به بهره‌انرژی برابر و اندکی بهتر از سازوکار افروزش شوکی دست یافت. برای  $M_f > 2 \text{ mg}$ ،  $\lambda_{if} < 0,5 \mu\text{m}$  و  $\chi_f > 0,5$  مزیت کلی حداقل ۱/۲ و بیشتر برای روش افروزش سریع- شوکی به دست می‌یابد.

شده‌اند که رفتار افروزش سریع- شوکی به ازای انرژی‌های افروزنده کوچک‌تر از مقدار بهینه،  $E_{if} \leq E_{if}^{opt}$ ، مورد بررسی قرار گیرد. نمودارها نشان می‌دهد که برای  $\lambda_{if} > 0,5 \mu\text{m}$  هیچ مزیتی برای افروزش سریع- شوکی در مقایسه با افروزش شوکی نخواهیم داشت. اما برای  $\lambda_{if} \sim 0,3 \mu\text{m}$ ، افروزش سریع- شوکی مزیتی حداقل از مرتبه ۱/۲ حتی برای مقادیر  $\chi_f = 0,5$  و  $M_f = 1,5 \text{ mg}$  به دست می‌دهد. به منظور برآورد سهم افروزنده شوکی به ازای مقادیر  $\chi_f \leq 1$ ، معادله (۹) در شکل ۶ در بازه  $0,5 < \chi_f < 1$  ترسیم شده است. طبق شکل ۶، بازه مناسب برای اجرای سازوکار افروزش سریع- شوکی برابر با  $\chi_f \in (0,5, 0,75)$  برای سهم افروزنده سریع و  $\chi_s \in (0,65, 0,9)$  برای سهم افروزنده شوکی است. در نهایت می‌توان گفت که با افزایش جرم سوخت و کاهش سهم افروزنده سریع،  $\chi_f$ ، مزیت کلی افروزش سریع- شوکی در مقایسه با افروزش شوکی افزایش می‌یابد که این موضوع از نقطه نظر فناوری ساخت محرک‌های افروزنده سریع حائز اهمیت است.

## مراجع

1. A H Farahbod and S A Ghasemi, *Iranian Journal of Physics Research* **12**, 4 (2013) 347.
2. S A Ghasemi and A H Farahbod, *Annual Physics Conference of Iran* (2012) 368; Yazd University, Yazd.
3. S A Ghasemi and A H Farahbod, *Bulletin of the American Physical Society, APS March Meeting* **58** (2013) 1.
4. S A Ghasemi and A H Farahbod, *Bulletin of the American Physical Society, APS March Meeting* (2014) (accepted).
5. J J Honrubia and J Meyer-ter-Vehn, *Journal of Physics: Conference Series* **112** (2008) 022055.
6. S Atzeni, A Shiavi, and C Bellei, *Phys. Plasmas* **14** (2007) 052702.
7. S Chawla et al., *Phys. Rev. Lett.* **110** (2013) 025001.
8. M Tabak et al., *Phys. Plasmas* **1**, 5 (1994) 1626.
9. S Atzeni, *Phys. Plasmas* **6**, 8 (1999) 3316.
10. M Tabak, D Hinkel, S Atzeni, E M Campbell, and K Tanaka, *Fusion Science Technology* **49** (2006) 254.
11. S Atzeni and M Tabak, *Plasma Phys. Controlled Fusion* **47** (2005) 769.
12. M Tabak and D Callahan, *Nucl. Instrum. Methods A* **544** (2005) 48.
13. C D Zhou et al., *Phys. Rev. Lett.* **98** (2007) 025004.
14. T Johzaki, K Mima, and Y Nakao, *Plasma and Fusion Research* **2** (2007) 041.
15. R Betti, A A Solodov, J A Delettrez, and C Zhou, *Phys. Plasmas* **13** (2006) 100703.
16. A J Schmitt, J W Bates, S P Obenschain, S T Zalesak, and D E Fyfe, *Phys. Plasmas* **17** (2010) 042701.
17. M D Rosen, J D Lindl, and A R Thiessen, *LLNL Laser Program Annual Report UCRL-50021-83* (1983) 3.
18. J J Honrubia and J Meyer-ter-Vehn, *Journal of Physics: Conference Series* **112** (2008) 022055.
19. S Atzeni, C Bellei, and A Schiavi, 33<sup>rd</sup> *European Physical Society Conference on Plasma Phys. Rome, ECA* **30I** (2006) 1.001.



Iranian Journal of Physics Research, Vol. 13, No. 4, 2014

## The Role of fast ignitor in fast-shock ignition concept

S A Ghasemi and A H Farahbod

Laser and Optics Research School, INST, Tehran, Iran  
E-mail: afarahbod@aeoi.org.ir

(Received 11 November 2012 ; in final form 30 December 2013)

### Abstract

This paper deals with the role of fast ignitor in fast-shock ignition (FSI) concept. The semi-analytical model indicates that the FSI target gain is a function of fast ignitor laser wavelength. If the energy of fast ignitor driver is  $\approx E_{if}^{opt}$  and the laser wavelength is less than 0.53 micron, then with a fuel mass about 2 mg the FSI has a considerable advantage over pure shock ignition and the figure of merit is better than 1.2. When the wavelength of fast ignitor becomes shorter, the  $E_{if}$  approaches  $E_{if}^{opt}$ , and for wavelengths shorter than 0.25 micron no additional advantage is obtained.

**Keywords:** fast ignition, shock ignition, fast-shock ignition, inertial confinement fusion



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.