

# شکست تقارن توابع ترکش با استفاده از پراکندگی نیمه فراگیر ژرف لپتون-نوکلئون

مریم سلیمانی نیا<sup>۱</sup>، علی خرمیان<sup>۱</sup>، محمد موسوی نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

<sup>۲</sup> دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، یزد

<sup>۳</sup> پژوهشکده فیزیک ذرات و شتابگرها، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)

## چکیده

در این مقاله توابع ترکش پایون تا مرتبه  $NLO$  با استفاده از رهیافت  $ZM-VFNS$  تعیین شده‌اند. به منظور تعیین این توابع ترکش و شکست تقارن بین کوارک و پادکوارک برای طعم‌های سبک، علاوه بر داده‌های فرآیند نابودی الکترون-پوزیترون از داده‌های مربوط به فرآیند پراکندگی نیمه‌فراگیر ژرف لپتون-نوکلئون نیز استفاده شده است. مقایسه‌ی نتایج بدست آمده با داده‌های تجربی و با گروه‌های دیگر از جمله  $DSS$  و  $AKK$  نشان‌دهنده‌ی موفقیت در استفاده از این داده‌ها است.

## مقدمه

بررسی چگونگی تولید هادرون فرآیند سختی است که تنها با استفاده از نتایج تئوری و آزمایشگاهی قابل درک است. نقش مطالعات تئوری در این زمینه، توضیح درباره‌ی چگونگی تولید هادرون در یک فرآیند در کواتوم کرومودینامیک و یا تئوری پیمانه‌ای برهمکنش‌های قوی است. فرآیندی که در آن می‌توانیم هادرون را در حالت نهایی مشاهده نماییم، بر اساس سطح مقطع اختلالی و دو تابع غیراختلالی توابع توزیع و توابع ترکش، توصیف می‌شود [۱-۳]. کواتوم کرومودینامیک اختلالی برای توصیف فرآیندهای پراکندگی به کار می‌رود که در انرژی‌های بالا اتفاق می‌افتند و ریشه‌هایی در تئوری آزادی مجانبی دارند. بنابراین بررسی توابع غیراختلالی که نواحی با انرژی کم را شامل می‌شوند به استخراج داده‌های آزمایشگاهی و همچنین جزئیات برهمکنش نیاز دارند. یکی از ویژگی‌های مثبت توابع ترکش مستقل بودن آن‌ها از فرآیند است. این ویژگی باعث می‌شود که بتوانیم تابع یکسانی را در مقیاس‌های مختلف انرژی و همچنین در مراحل آزمایشگاهی متفاوت تعریف کنیم. بنابراین اگرچه اکثر تحلیل‌های مربوط به توابع ترکش با فرآیند نابودی الکترون-پوزیترون  $e^+e^-$  همراه است، این توابع در فرآیندهای برخورد پروتون-پروتون و پراکندگی ناکشسان ژرف لپتون نوکلئون هم قابل بررسی است. پس از سال‌ها مطالعه و اندازه‌گیری‌های دقیق بر روی توابع توزیع پارتونی، اطلاعات دقیقی درباره‌ی ساختار پروتون بدست آمد به طوری که نتایج آزمایش‌های مختلف و تحلیل‌های تئوری با هم مطابقت خوبی دارند و با عدم قطعیت‌های کوچکی همراه هستند اما این اتفاق هنوز برای توابع ترکش حاصل نشده است و با وجود پیشرفت سریع در مطالعه‌ی این توابع دقت لازم بدست نیامده است. در حالی که دانش دقیق درباره‌ی توابع ترکش گلوئون و کوارک باعث استخراج اطلاعات دقیقی درباره‌ی ساختار هادرون و همچنین بدست آوردن اطلاعاتی درباره‌ی اسپین پروتون می‌شود.

## علت استفاده از داده‌های SIDIS

فرآیند فراگیر تولید هادرون از نابودی الکترون-پوزیترون،  $e^-e^+ \rightarrow \gamma, Z^0 \rightarrow q\bar{q} \rightarrow \text{Hadron} + \text{Jets}$ ، در انرژی‌های مختلف اندازه‌گیری شده است و داده‌های آزمایشگاهی دقیقی هم از گروه‌های مختلف گزارش شده‌اند. با

این حال تشخیص بین تابع ترکش کوآرک و پادکوآرک در فرآیند نابودی الکترون-پوزیترون به تنهایی بسیار مشکل است. بنابراین آنچه که از این داده‌های تجربی می‌توان استخراج کرد تابع ترکش  $D_{q+\bar{q}}^{\pi^\pm}$  می‌باشد به طوریکه  $\pi^\pm = \pi^+ + \pi^-$  [۴]. حتی امکان تشخیص تابع ترکش کوآرک ظرفیت از کوآرک دریا نیز با محدودیت همراه است و پیشگویی‌های دقیق فقط با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی فرآیند نیمه فراگیر پراکندگی ناکشسان ژرف<sup>۱</sup> امکان‌پذیر است. زیرا داده‌های مربوط به فرآیند نیمه فراگیر پراکندگی ناکشسان ژرف برای  $\pi^+$  و  $\pi^-$  به صورت مجزا گزارش شده‌اند. یکی از کمیت‌های مطالعه شده در فرآیندهای SIDIS کمیت نامتقارن اسپین دوگانه  $A_1^{N,H}$  است که به صورت کسری از توابع ساختار قطبیده بر توابع ساختار غیرقطبیده تعریف می‌شود [۵]:

$$A_1^{N,H}(x, z, Q^2) = \frac{g_1^{N,H}(x, z, Q^2)}{F_1^{N,H}(x, z, Q^2)}. \quad (1)$$

داده‌های تجربی این کمیت که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است در مرجع‌های [۶-۸] گزارش شده‌اند.

### فرم پدیده‌شناسی

بررسی توابع ترکش تنها با استفاده از داده‌های نابودی الکترون-پوزیترون با در نظر گرفتن تقارن بین کوآرک و پادکوآرک همراه است. به طوریکه [۹]

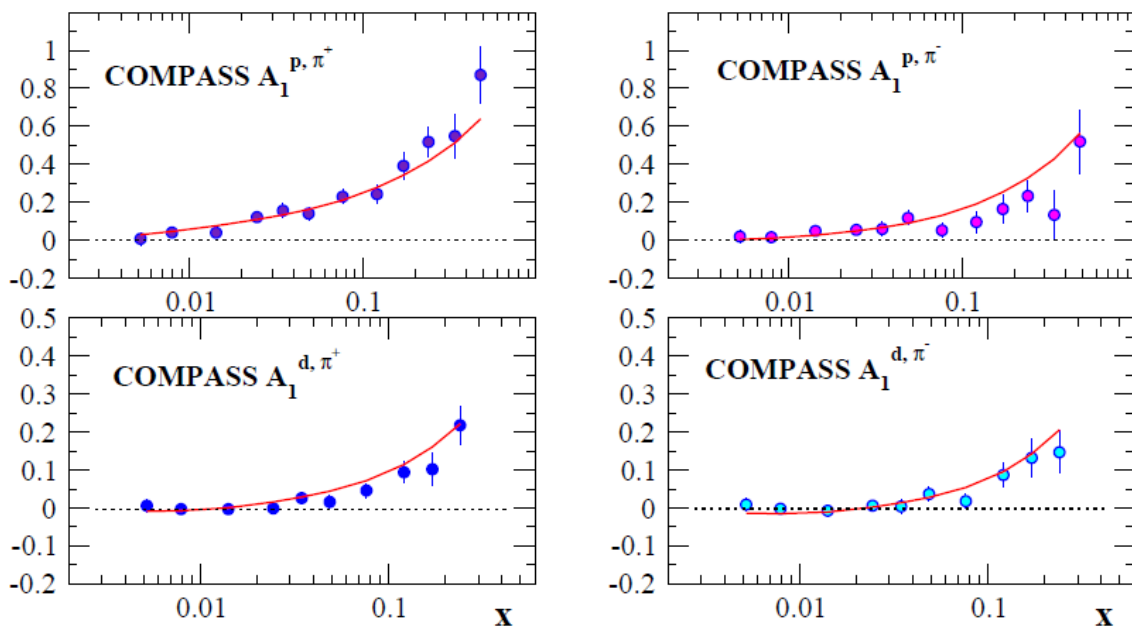
$$\begin{aligned} D_u^{\pi^+}(z; Q_0^2) &= D_{\bar{u}}^{\pi^+}(z; Q_0^2), \\ D_d^{\pi^+}(z; Q_0^2) &= D_{\bar{d}}^{\pi^+}(z; Q_0^2), \\ D_s^{\pi^+}(z; Q_0^2) &= D_{\bar{s}}^{\pi^+}(z; Q_0^2), \end{aligned} \quad (2)$$

در این مقاله با توجه به اضافه شدن داده‌های پراکندگی نیمه فراگیر ناکشسان ژرف، توابع ترکش کوآرک و پادکوآرک را برای کوآرک‌های ظرفیت جدا کردیم. همچنین از آنجا که احتمال تولید هادرون از کوآرک‌های ظرفیت بیشتر از کوآرک‌های دریا می‌باشد توابع ترکش کوآرک‌های ظرفیت را از کوآرک‌های دریا جدا نمودیم. از آنجا که پایون تولید شده می‌تواند از هر یک از کوآرک‌های سبک و سنگین و همچنین در مرتبه NLO از گلوئون هم تولید شود، مقیاس اولیه را برای توابع ترکش پارتون‌های سبک و گلوئون  $(u/\bar{u}, d/\bar{d}, s/\bar{s}, g)$  و  $Q_0^2 = 1\text{GeV}^2$  و برای کوآرک‌های سنگین  $c$  و  $b$ ،  $m_c^2$  و  $m_b^2$  در نظر می‌گیریم. فرم تابعی این توابع را با توجه به ساختار پایون به صورت زیر تعریف می‌کنیم

$$\begin{aligned} D_{u,d}^{\pi^+}(z; Q_0^2) &= N_u^{\pi^+} z^{\alpha_u^{\pi^+}} (1-z)^{\beta_u^{\pi^+}} (1-e^{-\gamma_u^{\pi^+}}), \\ D_{\bar{u},s,\bar{s},d}^{\pi^+}(z; Q_0^2) &= N_{\bar{u}}^{\pi^+} z^{\alpha_{\bar{u}}^{\pi^+}} (1-z)^{\beta_{\bar{u}}^{\pi^+}} (1-e^{-\gamma_{\bar{u}}^{\pi^+}}), \\ D_g^{\pi^+}(z; Q_0^2) &= N_g^{\pi^+} z^{\alpha_g^{\pi^+}} (1-z)^{\beta_g^{\pi^+}} (1-e^{-\gamma_g^{\pi^+}}), \\ D_{c,\bar{c}}^{\pi^+}(z; m_c^2) &= N_c^{\pi^+} z^{\alpha_c^{\pi^+}} (1-z)^{\beta_c^{\pi^+}} (1-e^{-\gamma_c^{\pi^+}}), \\ D_{b,\bar{b}}^{\pi^+}(z; m_b^2) &= N_b^{\pi^+} z^{\alpha_b^{\pi^+}} (1-z)^{\beta_b^{\pi^+}} (1-e^{-\gamma_b^{\pi^+}}). \end{aligned} \quad (3)$$

## نتیجه گیری

مطالعات انجام شده بر روی داده‌های نامتقارن اسپین دوگانه SIDIS،  $A_1^{N,H}$ ، نشان می‌دهد گروه‌های مختلف به بررسی توابع توزیع در حالت قطبیده با استفاده از این داده‌ها پرداخته‌اند [۵]. در این مقاله برای اولین بار با بکارگیری این داده‌ها به بررسی توابع ترکش هادرون سبک پایون پرداخته‌ایم. استفاده از این داده‌ها باعث می‌شود بتوانیم توابع ترکش کوآرک و پادکوآرک را از هم جدا نماییم. مقایسه‌ی نتایج بدست آمده برای توابع ترکش در حالت متقارن با استفاده از داده‌های نابودی الکترون-پوزیترون و در حالت نامتقارن با اضافه کردن داده‌های SIDIS، گویای تاثیر این داده‌ها بر روی نتایج می‌باشد. شکل ۱ مقایسه‌ای بین بخشی از داده‌های نامتقارن اسپین دوگانه SIDIS پایون و نتایج بدست آمده از محاسبات ما می‌باشد. این شکل گویای موفقیت در بکارگیری این داده‌ها برای بررسی توابع ترکش و همچنین فرم تابعی به کار رفته برای توابع ترکش پایون در مقیاس اولیه می‌باشد.



شکل ۱: مقایسه‌ی کمیت نامتقارن اسپین دوگانه SIDIS،  $A_1^{N,\pi^+}$  و  $A_1^{N,\pi^-}$ ، محاسبه شده در مرتبه‌ی NLO با داده‌های تجربی [۶-۸].

مرجع‌ها

- [۱] M.Soleymaninia, Ali N. Khorramian, and M. Moosavi Nejad, *J. Phys. Conf. Ser.* **347**, 012017 (2012).
- [۲] M. Soleymaninia, A. Khorramian, and M. Moosavi Nejad, *AIP Conf. Proc.* **1492**, 67-70 (2012).
- [۳] M. Soleymaninia, A. Khorramian and M. Moosavi Nejad, will be appeared in *the Journal Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei (PEPAN)* (2013).
- [۴] D. de Florian, R. Sassot, and M. Stratmann, *Phys. Rev. D* **75** (2007).
- [۵] E. Leader, et al., *Phys. Rev.D* **82** (2010) 114018 .
- [۶] A. Airapetian et al. [HERMES Collaboration], *Phys. Rev. D* **71** (2005) 012003.
- [۷] M. Alekseev et al. [COMPASS Collaboration], *Phys. Lett. B* **680**, 217 (2009).
- [۸] Alekseev et al. [COMPASS Collaboration], *Phys. Lett. B* **693**, 227 (2010).
- [۹] S. Albino, A. Kniesl, and G. Kramer, *Nucl. Phys. B* **803**, 42 (2008).