

# محاسبه تابع توزیع گلوئون وابسته به تکانه عرضی

سارا طاهری منفرد<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده فیزیک ذرات و شتابگرها، مرکز دانش‌های بنیادی

## چکیده

اندازه‌گیری‌های انجام شده از تابع ساختار پروتون در فرایند DIS در برخورددهنده HERA داده‌های بسیار دقیقی را فراهم آورده است که تعیین دقیق تابع توزیع پارتون در بازه بزرگی از متغیرهای سینماتیکی را امکان‌پذیر می‌کند. در اینجا برازشی را با استفاده از مدل‌های وابسته به تکانه عرضی و معادله CCFM انجام داده و فرم دقیقی را برای تابع توزیع گلوئون وابسته به تکانه عرضی استخراج کردیم.

## مقدمه

پراکندگی ناکشسان ژرف با محاسبه سطح مقطع‌ها و توابع ساختار بر حسب توابع توزیع پارتونی<sup>۱</sup> (PDFs) توصیف می‌شود. این توزیع‌ها معیاری از احتمال حمل کسر  $x$  از اندازه حرکت هادرون در مقیاس انرژی  $Q^2$  توسط پارتون مورد نظر هستند. پارامترهای این توزیع‌ها با استفاده از فرم‌های تابعی که شامل تعدادی پارامتر قابل تنظیم هستند از برازش داده‌های تجربی بدست می‌آید. براساس مجموعه داده‌های تجربی مورد استفاده، فرم تابعی انتخابی، رهیافت در نظر گرفتن جرم کوارک‌های سنگین و تکنیک‌های انجام برازش توزیع‌های مختلفی برای پارتون‌ها بدست می‌آید. هرچند نتایج کلی تا حدودی شبیه به هم هستند ولی در نواحی مختلفی از  $x$  و  $Q^2$ ، با توجه به نکات فوق، اختلاف‌هایی بین توزیع‌های پارتونی محاسبه شده وجود دارد. ویژگی مهمی که این توابع توزیع دارند این است که اثری از اندازه حرکت عرضی  $k_t^2$  در آنها دیده نمی‌شود و تحول آنها بر اساس معادلات DGLAP است. این توابع توزیع جهت محاسباتی که وابسته به  $k_t^2$  نیستند مانند سطح مقطع کل، توابع ساختار  $F_2(x, Q^2)$  و دیگر اندازه‌گیری‌های inclusive که در آنها نتایج کل برهم‌کنش مورد مطالعه اند مناسب هستند. در مورد مطالعات exclusive که بررسی سهم یک یا تعدادی از حالات نهایی برهم‌کنش اهمیت پیدا می‌کند نیاز به توزیع‌هایی داریم که نقش  $k_t^2$  در آنها وارد شده باشد. این توابع، توابع توزیع وابسته به عرضی<sup>۲</sup> هستند.

## معادله CCFM

از آنجایی که توابع توزیع TMD تابع دو متغیر مقیاس هستند، معادله حاکم بر تحول آنها پیچیده‌تر از معادلات حاکم بر توابع توزیع انتگرال‌گیری شده است. معادله CCFM تحول این توابع را به صورت

$$f_g(x, k_t, Q) = f_g^0(x, k_t, Q) + \int \frac{d^2q}{\pi q^2} \int_x^1 \frac{dz}{z} \Theta(Q - qz) \Theta(q - q_0) \frac{\alpha}{2\pi} \Delta_S(Q, q, z) \\ \times \tilde{P}(z, q, k_t) f_g\left(\frac{x}{z}, k_t', q\right),$$

(۱)

<sup>۱</sup> Parton Distribution Functions (PDFs)

<sup>۲</sup> Transverse Momentum Dependent (TMD)

ارائه می‌کند [۲۰]. در آن تابع توزیع پارتونی TMD گلوئون،  $Q$  مقیاس نهایی برهم‌کنش،  $q_0$  مقیاس ابتدایی تحول و  $k' = |k_t + (1-z)q|$  است. تابع شکافت گلوئونی است که به صورت

$$\tilde{P}(z, q, k_t) = 2N_c \left[ \frac{\Delta_{NS}(z, q, k_t)}{z} + \frac{1}{1-z} \right] \quad (۲)$$

تعریف می‌شود.  $\Delta_s$  و  $\Delta_{NS}$  عامل‌های فرم سوداکوف و غیر سوداکوف هستند. مروری بر روند محاسبه و استخراج این معادله در مرجع [۳] ارائه شده است. در محاسبه معادله CCFM، با در نظر گرفتن سهم جملات ناشی از تابش گلوئون‌ها در سطح مقطع در مراتب مختلف، رابطه‌ای بازگشتی برای این سهم‌ها بدست می‌آید و لذا می‌توان این اثرات را تا تمام مراتب لحاظ کرد. در روند انجام این محاسبات نکته‌ای که رعایت شده ترتیب‌بندی زاویه‌ای است. همبستگی زاویه‌ای در زنجیره تحولات که ناشی از ترتیب‌بندی زاویه‌ای است، بررسی تحلیلی در چارچوب این معادله را محدود به استفاده از برنامه cascade می‌کند که به بررسی آبشار ذرات در قالب برنامه‌های شبیه‌سازی با استفاده از روش مونت کارلو می‌پردازد [۴].

### فرمالیزم انجام محاسبات

هدف پروژه فعلی این است که داده‌های ترکیب شده توابع ساختار  $F_2$  و  $F_2^{\text{charm}}$  را برای تعیین توابع توزیع TMD استفاده کند [۵، ۶]. یک برنامه کلی برای پدیده‌شناسی این توابع توزیع در مرجع [۷] ارائه شده است. این پروژه هدفی محدودتر دارد و خود را به در نظر گرفتن داده‌های DIS در ناحیه سینماتیکی  $x$ ‌های بسیار کوچک مقید کرده است. برای انجام تحلیل‌های پدیده‌شناسی باید سهم‌های مربوط به  $x$ ‌های کوچک را به سهم‌های  $x$ ‌های متوسط و بزرگ ارتباط دهیم. برای این کار از معادله تحول CCFM استفاده کردیم. به منظور انجام برازش برنامه CASCADE را به صورت همزمان با HERAFITTER اجرا کردیم [۸]. در نهایت توزیع گلوئون TMD در مقیاس اولیه تحول از برازش داده‌های DIS بدست آمد. برازش را روی داده‌های تابع ساختار  $F_2$  در بازه  $x < 0.005$  و  $Q^2 > 5 \text{ GeV}^2$  و تابع ساختار  $F_2^C$  در بازه  $Q^2 > 2.5 \text{ GeV}^2$  انجام دادیم. همراه با تعیین توزیع گلوئون TMD، مقدار جرم کوارک charm و مقدار ثابت جفت شدگی قوی را نیز استخراج کردیم. دو فرم پارامتری کردن

$$xg(x, k_t) = Ax^{-B}(1-x)^C(1+Dx+Ex^2)\exp[-k_t^2/2]$$

و

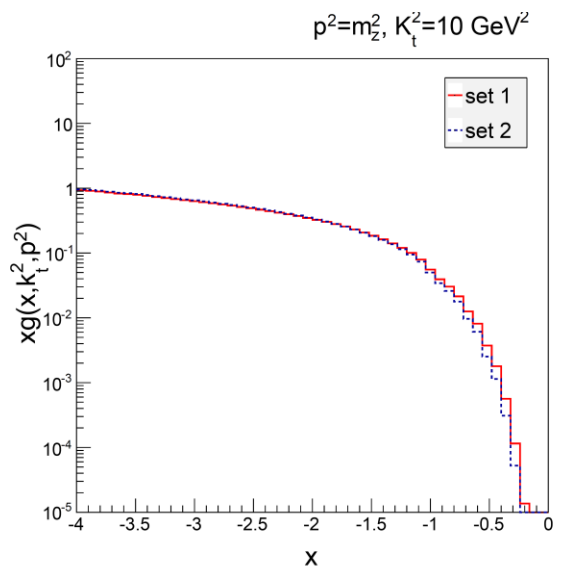
$$xg(x, k_t) = Ax^{-B}(1-x)^C \exp[-k_t^2/2]$$

که به ترتیب بر مبنای ۵ و ۳ پارامتر مجهول هستند در برازشمان استفاده کردیم که به نتایج موجود در جدول ۱ منجر شد.

	$\chi^2/ndf(F_2^{\text{(charm)}})$	$\chi^2/ndf(F_2)$	$\chi^2/ndf(F_2 \text{ and } F_2^{\text{(charm)}})$
3-parameter	0.640	1.124	1.452
5-parameter	0.646	1.084	1.420

جدول ۱: مقدار  $\chi^2/ndf$  مربوط به برازش بر روی دسته داده‌های مختلف برای ۲ فرم پارامتری کردن گلوئون

همانطور که در جدول ۱ مشخص شده است، افزایش تعداد پارامترهای مجهول تاثیر چندانی در بهتر شدن برازش ندارد. در شکل ۱ مقایسه‌ای از فرم این دو توزیع گلوئون با تحول به مقیاس جرم بوزون  $Z$ ، برای  $k_t^2 = 10 \text{ GeV}^2$  بر حسب  $X$  رسم شده است.



شکل ۱: توزیع گلوئون TMD بر اساس دو فرم پارامتری کردن در  $p^2 = m_Z^2, k_t^2 = 10 \text{ GeV}^2$  بر حسب  $X$

## نتیجه گیری

توزیع گلوئون TMD برای نخستین بار از جدیدترین داده‌های بسیار دقیق DIS بدست آمده در HERA با دقت خوبی در  $X$ های بسیار کوچک استخراج شد.

## مرجع‌ها

- [۱] M. Ciafaloni, Nucl. Phys. B ۲۹۶, ۴۹ (۱۹۸۸).
- [۲] S. Catani, F. Fiorani and G. Marchesini, Phys. Lett. B ۲۳۴, ۳۳۹ (۱۹۹۰).
- [۳] S. Catani, F. Fiorani and G. Marchesini, Nucl. Phys. B ۳۳۶, ۱۸ (۱۹۹۰).
- [۴] H. Jung, et al., Eur. Phys. J. C ۷۰, ۱۲۳۷ (۲۰۱۰) [arXiv:۱۰۰۸.۰۱۵۲ [hep-ph]].
- [۵] F. Aaron et al., JHEP ۱۰۰۱ (۲۰۱۰) ۱۰۹.
- [۶] H. Abramowicz et al., Eur. Phys. J. C ۷۳ (۲۰۱۳) ۲۳۱۱.
- [۷] S. Mert Aybat and T.C. Rogers, Phys. Rev. D ۸۳ (۲۰۱۱) ۱۱۴۰۴۲
- [۸] “HERAFitter” (۲۰۱۲), <https://www.herafitter.org/>; F. Aaron et al., Eur. Phys. J. C ۶۴ (۲۰۰۹) ۵۶۱, arXiv:۰۹۰۴.۳۵۱۳ [hep-ex]; F. James and M. Roos, Comput. Phys. Commun. ۱۰ (۱۹۷۵) ۳۴۳.