

محاسبه فرم فاکتور کشسان نوکلئون با استفاده از تابع توزیع MSTW2008

ستاری نیکخو، نگین* - شجاعی، محمدرضا

دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، گروه فیزیک

چکیده :

در این مقاله بنا داریم فرم فاکتورهای کشسان برای نوکلئون در تکانه‌های انتقالی میانی و تکانه‌های انتقالی بالا را بدست بیاوریم، با توجه به نظریه توزیع پارتون‌های عمومی (GPDs) براساس محاسبه فرم فاکتورهای کشسان می‌توان فرم فاکتورهای الکترومغناطیسی را بدست آورد. در این مقاله فرم فاکتورهای کشسان با در نظر گرفتن پارامتربندی گاوسی اصلاح شده در نظریه GPDs و با استفاده از تابع توزیع کواریکی MSTW 2008 در تقریب NNLO بدست می‌آوریم. همچنین، نتایج بدست آمده برای فرم فاکتورهای کشسان با نتایج تجربی و نتایج حاصله از پارامتربندی تعمیم یافته Regge را مقایسه می‌نماییم.

کلمات کلیدی: فرم فاکتور، تکانه انتقالی، توزیع پارتون‌های عمومی

مقدمه :

یکی از نظریه‌های مهم که می‌توان فرم فاکتورهای کشسان را بررسی نمود، نظریه توزیع پارتون‌های عمومی^۱، GPDs است [۱-۴]. در کوانتوم کرومودینامیک^۲، QCD، مفهومی با نام جداسازی^۳ وجود دارد که برهمکنش ذرات نقطه‌ای را در فاصله کوتاه به صورت اختلالی بررسی کرده و برهمکنشی را که مربوط به برهمکنش کلی نوکلئون در پراکندگی است، به صورت غیراختلالی مورد بررسی قرار می‌دهد. بخش غیراختلالی مربوط به پراکندگی‌ها را براساس نظریه توزیع پارتون‌های عمومی می‌توان مطالعه نمود. از روی GPDs می‌توان اطلاعاتی در مورد توزیع کواریک‌ها در داخل هادرون‌ها برای هر کواریک ظرفیتی بدست آورد. فرم فاکتورهای دیراک و پائولی براساس قوانین جمعی که در GPDs وجود دارد برحسب دو کمیت $H(x, \xi, t)$ و $E(x, \xi, t)$ بیان می‌شوند. از طریق محاسبه فرم فاکتورها می‌توان توزیع بار الکتریکی و مغناطیسی نوکلئون‌ها را در فضا بدست آورد. در محاسبه فرم فاکتورها تاکنون پارامتربندی‌های مختلفی در نظریه GPDs بیان شده است که هر یک از این پارامتربندی‌ها فرم فاکتورها را در بازه‌ی تکانه‌های انتقالی متفاوتی بررسی می‌کنند

¹ Generalized Parton Distributions

² Quantum Chromo Dynamic

³ Factorization

[۵-۸]. در روش پیشنهادی گاوسی^۱ فرم فاکتورهای الکترومغناطیسی برای پروتون بررسی شده است، نتایج این بررسی‌ها برای بازه تکانه انتقالی میانی $10 \text{ GeV}^2 < -t < 1 \text{ GeV}^2$ دارای جواب قابل قبولی هستند. در محاسبات به روش پیشنهادی گاوسی برای تابع موج دو پارتونی تنها قسمت نرم برای تابع موج (Ψ_{soft}) در نظر گرفته شده است و از قسمت سخت تابع موج (Ψ_{hard}) صرف نظر شده است [۵]. یکی دیگر از پارامتربندی‌های پیشنهاد شده، پارامتربندی گاوسی اصلاح شده^۲ است که با استفاده از این پارامتربندی می‌توان کمیت‌های مربوط به توزیع پارتون‌های عمومی و فرم فاکتورهای پائولی و دیراک را بدست آورد و در نهایت فرم فاکتورهای الکترومغناطیسی را برای پروتون محاسبه نمود [۶]. همچنین از دیگر پارامتربندی‌های مطرح شده پارامتربندی تعمیم یافته Regge می‌باشد که فرم فاکتورهای الکترومغناطیسی را برای پروتون و نوترون حساب کرده است [۷]. با استفاده از پارامتربندی‌های گاوسی اصلاح شده و تعمیم یافته Regge فرم فاکتورهای دیراک و پائولی با در نظر گرفتن تابع توزیع کواریکی MSRT 2002 بدست آمده است، که در پارامتربندی گاوسی اصلاح شده فرم فاکتورها در تکانه‌های انتقالی میانی، $1 \text{ GeV}^2 < -t < 10 \text{ GeV}^2$ ، مورد محاسبه قرار گرفته است [۶] و در پارامتربندی تعمیم یافته Regge فرم فاکتورها در تکانه‌های انتقالی بالا، $-t < 30 \text{ GeV}^2$ ، محاسبه شده است [۷]. در این مقاله قصد داریم با استفاده از این پارامتربندی گاوسی اصلاح شده و در نظر گرفتن جدیدترین تابع توزیع کواریکی ارائه شده MSTW 2008 در تقریب NNLO فرم فاکتورهای کشسان را برای پروتون بدست آورده در نهایت نتایج بدست آمده را با نتایج تجربی موجود مقایسه کنیم. در نهایت، مشاهده می‌شود پارامتربندی استفاده شده در مقایسه با نتایج بدست آمده در کارهای قبلی [۷، ۹] دارای تطابق خوبی با نتایج تجربی در تکانه‌های انتقالی میانی و نیز در تکانه‌های انتقالی بالا است.

فرم فاکتورها در توزیع پارتونی عمومی

برای نوکلئون‌ها فرم فاکتورهای دیراک و پائولی به صورت $F_{1,2}(t) = \sum_q e_q F_1^q(t)$ است که $F_1(t)$ و $F_2(t)$ برحسب کمیت‌های H GPDs و E کواریکی ظرفیتی متناسب با قوانین جمع برای کواریک‌های u و d وجود دارد که به صورت $F_1^q(t) = \int_0^1 dx \mathcal{H}^q(x, t)$ و $F_2^q(t) = \int_0^1 dx \mathcal{E}^q(x, t)$ بیان می‌شود، که $t = q^2$ مربع تکانه انتقالی است [۶، ۷]. وقتی $t=0$ ، $\mathcal{H}^q(x, t=0) = q(x)$ ، برابر با توزیع کواریک غیرقطبیده برای پروتون می‌باشد. بنابراین، برای پروتون به صورت $\mathcal{H}^P(x, 0) = e_u u_v(x) + e_d d_v(x)$ داریم. اما در حد $t=0$ نمی‌توان $\mathcal{E}^q(x, t=0) = \mathcal{E}^q(x)$ را برحسب توزیع پارتونی بیان نمود؛ بلکه شامل اطلاعات جدیدی در مورد ساختار نوکلئون است که به صورت $\kappa_q = \int_0^1 dx \mathcal{E}^q(x)$ بیان می‌شود. با توجه به این شرط مقدار $F_2^P(0)$ برابر با

¹ Gaussian Ansatz

² Modified Gaussian Ansatz

ممان مغناطیسی غیرعادی پروتون $\kappa_p = 1.793$ می‌شود و این مقدار برای نوترون برابر با $F_2^n(0) = \kappa_d = -1.913$ است. بعلاوه، با توجه به شرط بهنجارش، $F_1^P(0) = 1$ و $F_1^n(0) = 0$ است که نشان دهنده بارالکتریکی پروتون و نوترون است. تاکنون چند پارامتربندی برای $\mathcal{H}^q(x, t)$ که وابستگی به x و t را به صورت جداگانه در نظر می‌گیرند، به صورت زیر معرفی شده است:

$$\mathcal{H}^q(x, t) = q_v(x) G(t). \quad (1)$$

یکی از $\mathcal{H}^q(x, t)$ های پیشنهاد شده پارامتربندی تعمیم یافته Regge است که برای بررسی فرم فاکتورهای الکترومغناطیسی بین بازه تکانه انتقالی $-t < 30 \text{ GeV}^2$ به صورت زیر مطرح شده است [۹، ۷]:

$$\mathcal{H}^q(x, t) = q_v(x) x^{-\alpha(1-x)t}. \quad (2)$$

پارامتربندی گاوسی اصلاح شده نیز با توجه به وابستگی \mathcal{H}^q به t به صورت زیر معرفی شده است [۶]:

$$\mathcal{H}^q(x, t) = q_v(x) \exp\left[\alpha \frac{(1-x)^2}{x^{0.4}} t\right] \quad (3)$$

برای تابع توزیع کوارکی غیرقطبیده دو پارامتربندی مختلف در نظر می‌گیریم. اولین پارامتربندی مورد استفاده، پارامتربندی MSRT2002 در حالت $Q_0^2 = 1 \text{ GeV}^2$ می‌باشد، که توابع توزیع کوارکی را در مقدار ثابتی از مربع تکانه انتقالی، Q_0^2 ، بیان می‌کنند که تنها تابعی از کسر تکانه انتقالی x هستند، در تقریب NNLO به صورت زیر است [۱۰]:

$$u_v(x, Q_0^2) = 0.262x^{-0.69}(1-x)^{3.5}(1 + 3.83\sqrt{x} + 37.65x) \quad (4)$$

$$d_v(x, Q_0^2) = 0.061x^{-0.65}(1-x)^{4.03}(1 + 49.05\sqrt{x} + 8.65x) \quad (5)$$

دومین پارامتربندی مورد استفاده، پارامتربندی MSTW2008 در حالت $Q_0^2 = 1 \text{ GeV}^2$ می‌باشد که در تقریب NNLO استفاده می‌کنیم [۱۱]:

$$u_v(x, Q_0^2) = 0.2225x^{-0.735}(1-x)^{3.3627}(1 + 4.4343\sqrt{x} + 38.599x), \quad (6)$$

$$d_v(x, Q_0^2) = 17.938x^{0.084}(1-x)^{6.11}(1 - 3.6387\sqrt{x} + 5.2577x). \quad (7)$$

برای فرم فاکتور پائولی $F_2(t)$ ، همان پارامتربندی مورد استفاده برای $\mathcal{H}^q(x, t)$ استفاده می‌شود که به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\varepsilon^q(x, t) = \varepsilon^q(x) x^{-\alpha(1-x)t} \quad (8)$$

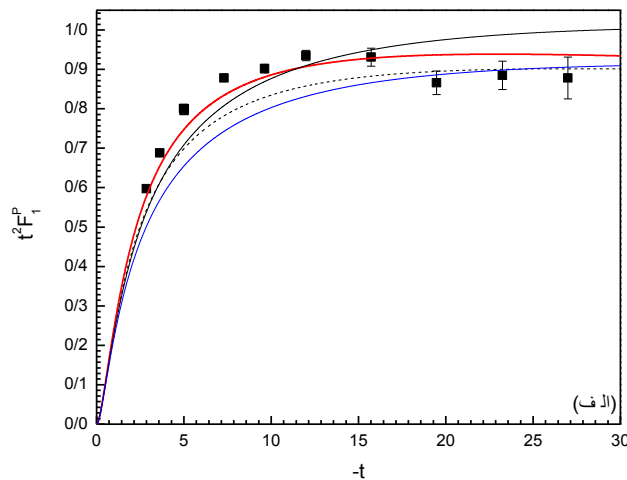
از لحاظ تجربی فرم فاکتور پائولی از خود کاهش زیادی را در t های بزرگ نسبت به فرم فاکتور دیراک نشان می‌دهد. بنابراین در تمام مدل‌های پیشنهاد شده $\varepsilon(x)$ از $\mathcal{H}(x)$ متفاوت است. بنابراین در t های بزرگ وقتی $x \rightarrow 1$ میل می‌کند $\varepsilon(x)$ در مقایسه با $\mathcal{H}(x)$ باید دارای ضریبی اضافه از $(1-x)$ می‌باشد [۹، ۷] بنابراین داریم:

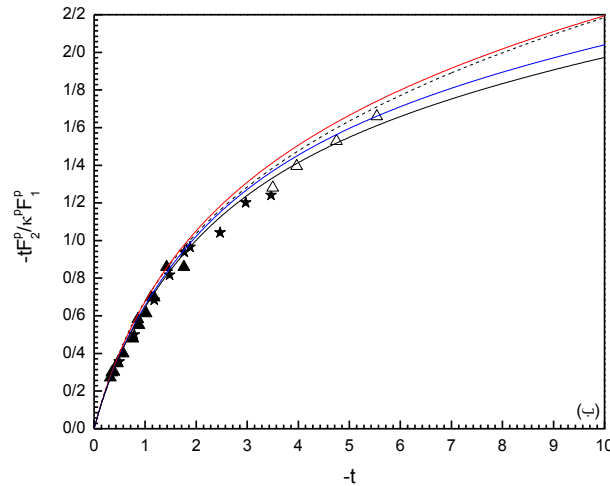
$$\varepsilon^u(x) = \frac{\kappa_u}{N_u} (1-x)^{\eta_u} u_v(x), \quad \varepsilon^d(x) = \frac{\kappa_d}{N_d} (1-x)^{\eta_d} d_v(x) \quad (9)$$

N_d و N_u ضرایب بهنجار هستند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N_u = \int_0^1 dx (1-x)^{\eta_u} u_v(x), \quad N_d = \int_0^1 dx (1-x)^{\eta_d} d_v(x) \quad (10)$$

ضرایب η_d و η_u از روی تطابق با نتایج تجربی فرم فاکتورها بدست می‌آیند.





شکل ۱: (الف) فرم فاکتور دیراک F_1 که به t^2 ضرب شده و تابعی از $-t$ است را نمایش می‌دهد، (ب) نسبت فرم فاکتور پائولی به فرم فاکتور دیراک که به $-t$ ضرب شده را نمایش می‌دهد. منحنی مشکی رنگ برای ضریب $\alpha = 1.19 \text{ GeV}^{-2}$ رسم شده است. منحنی قرمز رنگ برای ضریب $\alpha = 1.25 \text{ GeV}^{-2}$ رسم شده است. منحنی قرمز رنگ از مرجع [۶] گرفته شده است. منحنی خط چین مشکی از مرجع [۷] گرفته شده است. نتایج تجربی برای F_1^p از [۱۲] گرفته شده است. نتایج تجربی برای نسبت F_2^p/F_1^p از [۱۲-۱۴] گرفته شده است.

نتایج :

نتایج محاسبات ما با استفاده از پارامتربندی گاوسی اصلاح شده به پارامترهای α ، η_u و η_d وابسته است که مقدار پارامتر α از طریق رفتار $t^2 F_1(t)$ طبق شکل ۱ (الف) تعیین می‌شود. منحنی قرمز رنگ با در نظر گرفتن پارامتربندی گاوسی اصلاح شده و تابع توزیع کواری MSRT 2002 برای محاسبه فرم فاکتور کشسان استفاده شده است [۶]. همچنین منحنی خط چین مشکی فرم فاکتور کشسان در بازه تکانه انتقالی بزرگ براساس پارامتربندی Regge و تابع توزیع کواری MSRT 2002 استفاده کرده است [۷]. اما با در نظر گرفتن تابع توزیع کواری متفاوت، MSTW 2008، برای پارامتربندی گاوسی اصلاح شده دو مقدار متفاوت برای پارامتر α در نظر می‌گیریم که در این صورت با نتایج تجربی در ناحیه تکانه انتقالی میانی و بالا $-t$ دارای تطابق خوبی هستند. منحنی مشکی رنگ برای $\alpha = 1.19 \text{ GeV}^{-2}$ برای ناحیه تکانه انتقالی میانی، $1 \text{ GeV}^2 < -t < 10 \text{ GeV}^2$ ، و منحنی آبی رنگ برای $\alpha = 1.25 \text{ GeV}^{-2}$ برای ناحیه تکانه انتقالی بالا، $-t < 30 \text{ GeV}^2$ ، رسم شده است. اگر پارامترهای η_u و η_d را برای کواریک‌های u و d 1.25 در نظر بگیریم با توجه به شکل ۱ (ب) مشاهده می‌شود که تطابق خوبی با نقاط تجربی دارند.

بحث و نتیجه گیری :

با توجه به نتایج موجود مشاهده می‌شود که با در نظر گرفتن پارامتربندی گاوسی اصلاح شده و به کارگیری تابع توزیع کوارکی MSTW 2008 نتایج بدست آمده نسبت به پارامتربندی تعمیم یافته Regge و به کارگیری تابع توزیع کوارکی MSRT 2002 دارای تطابق خوبی با نتایج تجربی است. در نهایت می‌توان گفت که استفاده از تابع توزیع کوارکی MSTW 2008 نسبت به تابع توزیع کوارکی MSRT 2002 در نظریه GPDs برای بدست آوردن فرم فاکتورهای دیراک و پائولی برای پارامتربندی گاوسی اصلاح شده در تطابق خوبی با نتایج تجربی است.

مراجع :

- [1] K. Goeke, M.V. Polyakov, M. Vanderhaeghen, Hard Exclusive Reactions and the Structure of Hadrons, Prog. Part. Nucl. Phys. 47, 401 (2001).
- [2] A.V. Radyushkin, Nonforward parton distributions, Phys. Rev. D 56, 5524 (1997).
- [3] M. Diehl, Generalized parton distributions, Phys. Rep. 388, 41 (2003).
- [4] X. Ji, Deeply Virtual Compton Scattering, Phys. Rev. D 55, 7114 (1997).
- [5] P. Stoler et al., Phys. Rev. D 65 (2002) 053013.
- [6] O. V. Selyugin and O. V. Teryaev, Generalized parton distributions and description of electromagnetic and graviton form factors of nucleon, Phys. Rev. D 79, 033003 (2009).
- [7] M. Guidal, M.V. Polyakov, A.V. Radyushkin, M. Vanderhaeghen, Nucleon form factors from generalized parton distributions, Phys. Rev. D 72, 054013 (2005).
- [8] D. Chakrabarti and C. Mondal, Transverse charge and magnetization densities in holographic QCD, Eur. Phys. J. C 74, 2962 (2014).
- [9] N.S. Nikkhoo, M.R. Shojaei, Transverse charge and magnetization densities based on Regge parameterization, Int. J. Mod. Phys. E 24, 1550086 (2015).
- [10] A. D. Martin, R. G. Roberts, W. J. Stirling and R. S. Thorne, NNLO global parton analysis, Phys. Lett. B 531, 216 (2002).
- [11] A. D. Martin, W. J. Stirling, R. S. Thorne and G. Watt, Parton distributions for the LHC, Eur. Phys. J. C 63, 189 (2009).
- [12] M. K. Jones et al., $\frac{GEp}{GMp}$ Ratio by Polarization Transfer in $e^+p \rightarrow ep^+$, Phys. Rev. Lett. 84, 1398 (2000).
- [13] O. Gayou et al, Phys Rev C 64, Measurements of the elastic electromagnetic form factor ratio $\frac{\mu p GEp}{GMp}$ via polarization transfer, 038202 (2001).
- [14] O. Gayou et al, Measurement of $\frac{GEp}{GMp}$ in $e^+p \rightarrow ep^+$ to $Q^2 = 5.6 GeV^2$, Phys Rev Lett. 88, 092301 (2002).