

# تحول گروه‌های کهکشانی در شبیه‌سازی میلیونیوم

عبدالحسین هاشمی زاده<sup>۱</sup>، حبیب خسروشاهی<sup>۲</sup>، حسین حق<sup>۱</sup>، مجتبی رئوف<sup>۲</sup>، علیرضا ملائی نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده فیزیک، مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه (IASBS)، زنجان

<sup>۲</sup> پژوهشکده نجوم، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)، تهران

## چکیده

ما تحول گروه‌های کهکشانی فسیل را در این شبیه‌سازی میلیونیوم بررسی کرده‌ایم و پارامترهای مختلف را در این شبیه‌سازی دنبال کرده‌ایم. گروه‌های فسیل از جمله گروه‌های پیر محسوب می‌شوند که برای اختلاف قدر زیاد بین دو عضو پرنورشان و درخشندگی بالا در محدوده‌ی پرتو ایکس شناخته شده‌اند. ما تحول پارامترهای مختلف این دسته از گروه‌ها را در شبیه‌سازی میلیونیوم و در گذر زمان بررسی کرده‌ایم و به این نتیجه رسیدیم که تاریخچه‌ی انباشتگی جرم<sup>۱</sup> و اختلاف قدری در شبیه‌سازی‌های انجام شده در کیهانشناسی‌های WMAP<sup>۱</sup> و WMAP<sup>۲</sup> برای گروه‌های فسیل و غیر فسیل تحول نسبتاً یکسانی دارند. تحول تمرکزگرایی جرمی<sup>۲</sup>، سرعت پخشی و فراوانی کهکشان‌های کوتوله برای فسیل‌ها و غیر فسیل‌ها مسیرهای متفاوتی را طی می‌کنند. در قسمت دوم تاثیر فرآیند ادغام بر تابع درخشایی را بررسی می‌کنیم تحول نسبت کهکشان‌های کوتوله به کهکشان‌های غول (DGR)<sup>۳</sup> را در طول فرآیند ادغام بررسی کردیم و دیدیم که DGR در مرحله‌ی ادغام افت و خیز قابل توجهی را تجربه می‌کند.

## ۱ مقدمه

به دلیل چگال‌تر بودن و کم‌تر بودن سرعت پخشی گروه‌ها بررسی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دسته‌ای از گروه‌های کهکشانی که پیر بوده و در زمان‌های بسیار دور تشکیل شده‌اند به گروه‌های فسیل معروف‌اند. تاکنون مطالعات رصدی متعددی روی این گروه‌ها انجام شده است. این مطالعات نشان می‌دهند که فسیل‌ها درون هاله‌ای از تابش ایکس قرار دارند که حاکی از وجود گاز داغ میان گروهی است. گروه‌های فسیل اولین بار توسط پونمن و همکاران در ۱۹۹۴ معرفی شدند و نشان داده شد که علاوه بر وجود منبع بزرگ پرتو ایکس در فسیل‌ها، کهکشان بزرگ بیضوی نیز در مرکز این گروه‌ها وجود دارد که تصور می‌شود از ادغام کهکشان‌های دیگر با کهکشان مرکزی به وجود آمده باشد [۱ و ۲].

جونز و همکاران (۲۰۰۳) برای اولین بار با بهره‌گیری از شواهد رصدی تعریفی مشخص از فسیل‌ها ارائه کردند. براساس این تعریف گروه‌های فسیل دارای درخشندگی پرتو ایکس  $L_{x,bol} \sim 0.25 \cdot 10^{42} h_{10}^2 \text{ergs}^{-1}$  از نظر مرئی هم فسیل‌ها واجد شرط  $Dm_{12} \geq 2$  هستند. که  $Dm_{12}$  همان اختلاف قدر بین دو عضو پرنور گروه در نیم شعاع ویريال (۰/۵R<sub>۲۰۰</sub>) است [۳].

<sup>۱</sup> Mass assembly

<sup>۲</sup> Mass concentration

<sup>۳</sup> Dwarf to Giant Ratio

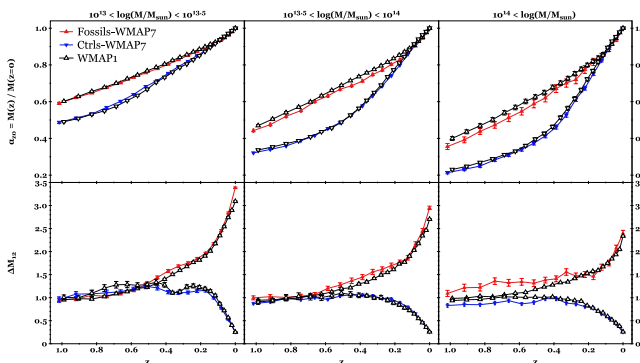
در این مقاله پس از معرفی شبیه‌سازی میلیوم و مدل‌های نیمه تحلیلی<sup>۱</sup> به بررسی نتایج به دست آمده می‌پردازیم. ما پارامترهای مختلفی را که برای بررسی تحول گروه‌های فسیل و غیر فسیل (با شرط  $Dm_{12} \leq 0.5$ ) بسیار حائز اهمیتند را در شبیه‌سازی میلیوم دنبال کردیم.

## ۲ شبیه‌سازی میلیوم و مدل‌های نیمه تحلیلی

شبیه‌سازی میلیوم نخستین بار در ۲۰۰۵ در انجمن سوپر کامپیوتر گارچینگ در انستیتو ماکس پلانک آلمان اجرا شد. اولین شبیه‌سازی که از این پس آن را MS می‌نامیم، ۱۰<sup>۱۰</sup> ذره‌ی ماده‌ی تاریک به جرم  $8/6 \cdot 10^8 h^{-1} M_{\odot}$  را با توان تفکیک ۲۰ ذره را در جعبه‌ای به ابعاد  $500 h^{-1} \text{Mpc}$  شبیه‌سازی می‌کند [۴]. سه سال بعد، میلیوم II (MS-II) با هدف دسترسی به توان تفکیک بالاتر اجرا شد. به این ترتیب که با حفظ تعداد ذرات MS، ابعاد جعبه به  $100 h^{-1} \text{Mpc}$  کاهش پیدا کرد. جرم هر ذره در MS-II معادل  $6/89 \cdot 10^6 h^{-1} M_{\odot}$  است که با در نظر گرفتن ۲۰ ذره در هر هاله جرم هاله‌های ماده‌ی تاریک عبارت خواهد بود از:  $1/38 \cdot 10^8 h^{-1} M_{\odot}$  [۵]. شبیه‌سازی‌های دیگری نیز با تعداد ذرات و در اندازه‌های مختلف انجام شده است که در اینجا از آوردن آن‌ها خودداری می‌کنیم. در ۲۰۱۳ میلیوم و میلیوم II یک بار دیگر با پارامترهای کیهانشناسی به دست آمده از WMAPV اجرا شد که نتیجه‌ی حاصل شده حاکی از این بود که تغییر در پارامترها تاثیری در فراوانی هاله‌ها و خوشه‌ای شدن آن‌ها نداشته است. از مقاله‌ی گوو و همکاران (۲۰۱۳) می‌دانیم که در WMAPV ساختارها کمی دیرتر از WMAP1 تشکیل می‌شوند [۶].

از شبیه‌سازی تنها ماده‌ی تاریک و خواص آن، از جمله آهنگ ادغام هاله‌ها، را داریم. رفتار ماده‌ی باریونی، از جمله سرمایش و گرمایش گاز، ستاره‌زایی، رشد سیاهچاله‌ها و هسته‌های فعال کهکشانی، را با استفاده از مدل‌های نیمه تحلیلی به شبیه‌سازی اضافه می‌کنند. از جمله مدل‌های نیمه‌تحلیلی که تاکنون برای مدل کردن کهکشان‌ها ارائه شده‌اند می‌توان به مدل باور (۲۰۰۶)، مدل دلوشیا و بلایزوت (۲۰۰۷) و گوو (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) اشاره کرد. ما در این کار از مدل گوو ۲۰۱۱ استفاده کرده‌ایم.

## ۳ نتایج

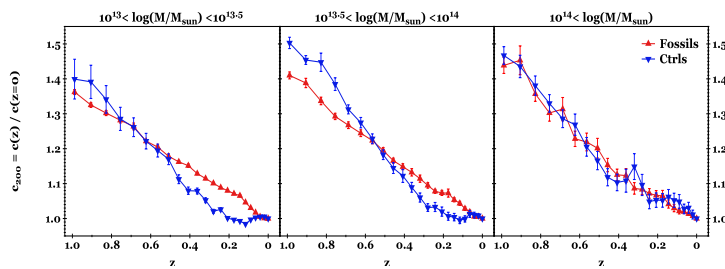


شکل ۱. تحول انباشتگی جرمی بر حسب انتقال به سرخ

۱-۳ تاریخچه‌ی انباشتگی جرم و اختلاف قدر: اولین پارامتری که ما برای بررسی روند تحولی گروه‌های فسیل در مقایسه با گروه‌های غیر فسیل در نظر گرفتیم، انباشتگی جرمی است. این کمیت از تقسیم جرم هر گروه در انتقال به سرخ مورد نظر به جرم همان گروه در انتقال به سرخ صفر به دست می‌آید. در

<sup>۱</sup> Semi-Analytical Models

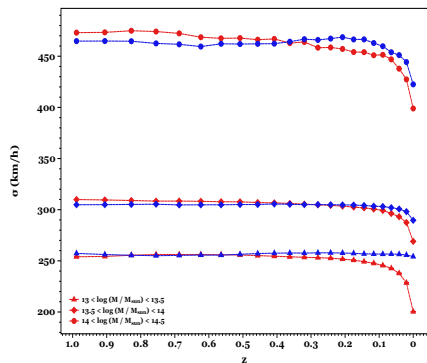
شکل ۱ تحول این کمیت از انتقال به سرخ ۱ تا صفر را در سه بین جرمی می بینیم، که نمادهای قرمز و آبی، به ترتیب فسیل‌ها و غیرفسیل‌ها در WMAPV و نمادهای مشکی WMAP1 را نشان می‌دهند. می بینیم که فسیل‌ها برخلاف غیرفسیل‌ها در  $z=1$  بیش از نیم برابر جرمشان در  $z=0$  را تشکیل داده بودند، که خود بیانگر پیر بودن آن‌هاست. تحول  $Dm_{12}$  نیز همانطور که می بینیم برای فسیل‌ها و غیرفسیل‌ها مسیرهای متفاوتی را نشان می‌دهد و مشخص است که هرچه گروه‌ها اختلاف قدری بالاتری داشته باشند احتمالاً در زمان‌های دیرتری تشکیل شده‌اند (به عبارت دیگر از نوع پیشین هستند) [۲]. از طرف دیگر مسیری که در WMAPV می بینیم همان مسیری است که در WMAP1 می دیدیم. بنابراین همانطور که از مقاله‌ی گوو ۲۰۱۳ هم می‌دانیم و انتظار داریم، کیهانشناسی در نتایج ما تاثیری ندارد [۶].



شکل ۲. تاریخچه‌ی تحولی تمرکزگرایی جرمی بر حسب WMAP

۲-۳ تاریخچه‌ی تمرکزگرایی جرمی: شکل ۲، تحول تمرکزگرایی جرمی را در بین‌های مختلف جرمی نشان می‌دهد. تمرکزگرایی جرمی همان است که در پروفایل NFW داریم. به وضوح مشخص است که در جرم‌های کم‌تر، تغییرات (شیب) مسیر فسیل‌ها تقریباً ثابت

است و این به معنی عدم تحول در زمان‌های اخیر است. اما غیرفسیل‌ها نوساناتی را تجربه می‌کنند که گواه تحول‌های اخیر در آن‌هاست. در بین‌های پرجرم هردو دسته‌ی فسیل‌ها و غیرفسیل‌ها تحول دارند که به این دلیل است که ساختارهای پرجرم اخیراً تشکیل شده‌اند و بنابراین دیدن این تحول طبیعی است.



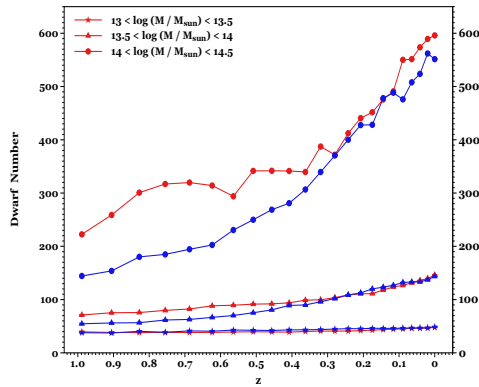
۳-۳ تحول سرعت پخشی کهکشان‌های کوتوله: سرعت پخشی را برای کهکشان‌های کوتوله، یعنی کهکشان‌هایی که قدر مطلقشان بین ۱۴- تا ۱۸- است محاسبه کرده و تحول آن را برای فسیل‌ها و غیرفسیل‌ها از  $z=1$  تا  $z=0$  در بین‌های جرمی مختلف در شکل ۳ آورده‌ایم.

۳-۴ تحول فراوانی کهکشان‌های کوتوله: شکل ۴ فراوانی

کهکشان‌های کوتوله را بر حسب انتقال به سرخ در بین‌های مختلف جرمی نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است تعداد کهکشان‌های کوتوله در همه‌ی بین‌های جرمی در

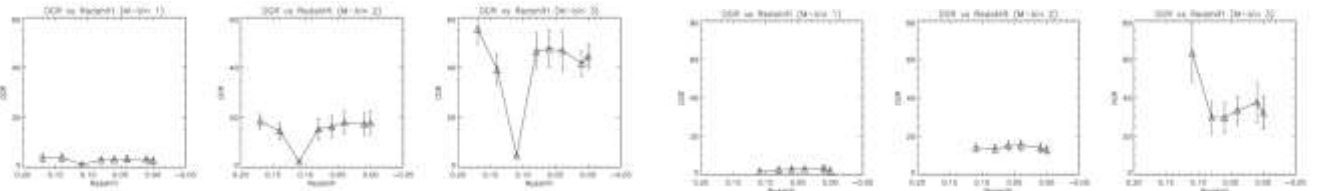
شکل ۳. تحول سرعت پخشی کهکشان‌های کوتوله بر حسب WMAP

فسیل‌ها و غیر فسیل‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۴. تحول فراوانی کهکشان‌های کوتوله بر حسب انتقال به سرخ

۳-۵ تاثیر فرآیند ادغام بر تابع درخشایی: ما برای تمام گروه‌هایی که در  $z=0$  داریم، زمان آخرین ادغام بزرگ<sup>۱</sup> را یافتیم، سپس در دو مرحله پیش و پنج مرحله پس از ادغام به بررسی گروه‌ها پرداختیم و تابع درخشایی را برای آن‌ها مطالعه کردیم. نکته‌ی جالب توجه این است که زمانی که ادغام را در نظر می‌گیریم، درست در مرحله‌ی ادغام تغییراتی در انتهای پرنور تابع درخشایی می‌بینیم. اگر نسبت تعداد کهکشان‌های کوتوله به کهکشان‌های غول را در تمام مراحل قبل، بعد و در حین ادغام محاسبه کنیم باز افت و خیزی را در مرحله‌ی ادغام می‌بینیم (شکل ۵ الف) که به احتمال زیاد حاکی از تاثیر پدیده‌ی ادغام بزرگ است. چنین افت و خیزی را زمانی که پدیده‌ی ادغام را نادیده بگیریم نمی‌بینیم (شکل ۵ ب).



شکل ۵. (الف) تغییرات DGR در مراحل پیش و پس از ادغام در بین بندی‌های مختلف جرمی، سومین نماد از چپ معادل مرحله‌ی ادغام است. (ب) تغییرات DGR بدون در نظر گرفتن ادغام

## ۴ بحث و خلاصه

ما در این مقاله با استفاده از شبیه‌سازی میلیوم که بزرگ‌ترین شبیه‌سازی کیهانی انجام شده که تاکنون است، به بررسی پارامترهای مهم گروه‌های فسیل و غیرفسیل پرداخته و به نتایج زیر رسیدیم. تاریخچه‌ی انباشتگی جرمی نشان می‌دهد که فسیل‌ها بیش از نصف جرمشان را تا انتقال به سرخ یک تشکیل داده‌اند. تحول اختلاف قدر هم بیانگر این است که گروه‌های با اختلاف قدر بیش‌تر پیرتر از سایرین هستند. از طرف دیگر کیهان‌شناسی‌های مختلف تأثیری در روند تحول‌ها ندارند. تحول تمرکزگرایی جرمی هم نشان می‌دهد که فسیل‌ها تحول کمتری به نسبت غیرفسیل‌ها دارند. روند تحولی سرعت پخشی هم برای فسیل‌ها و غیرفسیل‌ها متفاوت است و نشان می‌دهد که در زمان‌های دور گروه‌های غیرفسیل به دلیل داشتن سرعت پخشی کم‌تر نسبت به فسیل‌ها تحول بیش‌تری را تجربه کرده‌اند. در نهایت پدیده‌ی ادغام را می‌بینیم که روی انتهای پرنور تابع درخشایی تاثیر می‌گذارد و همانطور که انتظار داریم شمار کهکشان‌های پرنور را افزایش می‌دهد. نتیجه‌گیری بهتر و در مورد تاثیر ادغام بر تابع درخشایی نیازمند مطالعه و بررسی بیش‌تر است.

<sup>1</sup> Major merger

## مراجع

١. Ponman, TJ, et al., *Nature*, 1994, **369**: 462–464
٢. Dariush, Ali A., et al. 2010, *MNRAS*, **405**, 1873–1887
٣. Jones, LR, et al., 2003, *MNRAS*, **343**: 627–638
٤. Springel, V., et al., 2005, *Nature*, **435**, 629
٥. Boylan Kolchin, M., et al., 2009, *arXiv:0903.3041v2*
٦. Guo, Q., et al., 2013, *MNRAS*, **428**, 1351