

پروژه تحقیقاتی

## تحلیل آماری تابش زمینه<sup>۱</sup> کیهانی

مجری:

سید محمد صادق موحد<sup>۱</sup>

همکاران:

حسین مصحفی<sup>۱</sup>

شانت باغرام<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیک - دانشگاه شهید بهشتی

<sup>۲</sup> پژوهشکده نجوم و اختر فیزیک - پژوهشگاه دانشهای بنیادی

<sup>۳</sup> دانشکده فیزیک - دانشگاه صنعتی شریف

### مقدمه

تا سالهای اخیر علم کیهان‌شناسی و علوم مرتبط با آن مانند فیزیک انرژی‌های بالا به عنوان شاخه‌ای از داستانهای علمی تخیلی به حساب می‌آمد. با کشف تابش زمینه<sup>۱</sup> کیهانی به عنوان یکی از مهمترین رصدها در سال ۱۹۶۴، و به مدد ابزارها و فناوری در ساخت ماهواره‌های تحقیقاتی و تلسکوپ‌های بزرگ و دقیق، کیهان‌شناسی مدرن متولد شد. به دلیل محدود بودن سرعت نور با نگاه کردن به جهان به عنوان ماشین زمان می‌توان به اعماق کیهان سفر کرد و ضمن آنکه اطلاعاتی از شرایط و چگونگی ایجاد جهان کسب می‌کنیم به تدریجچه تحول آن نیز پی‌می‌بریم. اگر به تاریخ تحول عالم توجه کنیم، متوجه می‌شویم که یکی از دغدغه‌های مهم بشری دست یافتن به اسرار و رموز آسمانها و کهکشانها و به طور کلی کیهان بوده است. اقوام مختلف با آداب و رسوم متعدد از نقطه نظرهای گوناگونی به آسمان بالای سرشان توجه کرده‌اند. ضمن اینکه این قسمت از عالم یکی از جذاب‌ترین مشاهدات بشری به حساب می‌آید، یکی از پیچیده‌ترین و ناشناخته‌ترین قسم عالم نیز به شمار می‌رود. خالق بی‌همتا نیز در جای جای کتاب مقدس قرآن، برای افزایش معرفت انسان نسبت به خود، او را به اندیشه و تدبر در عالم هستی و کائنات فرا می‌خواند.

به نقل از بسیاری از بزرگان و دانشمندان علم فیزیک، پایان قرن ۲۰ مقارن با پایان تحول و کشف در علم فیزیک تصور می‌شد، اما مشاهدات و آزمایشهای دقیق آنها را متقاعد ساخت که نه تنها به انتهای علم فیزیک نزدیک نشده‌ایم بلکه با دنیایی از سوالاتی روبرو هستیم که حتی از پاسخ دادن به ساده‌ترین و بدیهی‌ترین آنها مانند آنچه که در ذیل می‌آید، ناتوان هستیم:

- عالم از چه اجزایی ساخته شده است؟

- انفجار اولیه بزرگ در کجا و در چه زمانی رخ داده است؟
- ساختارهای بزرگ مقیاسی که امروزه ما آنها را به صورت خوشه‌ها و کهکشانها مشاهده می‌کنیم، چگونه بوجود آمده‌اند؟
- اندازه و سن عالم چقدر است؟
- حیات چیست و چگونه بوجود آمده‌است؟

و از این نوع سوالات که البته به برخی از آنها پاسخ داده شده و برخی نیز هنوز بدون پاسخ باقی مانده‌اند. با این مقدمه و با کمک رهیافت‌هایی که از یکسو برای پاسخ به سوالات متعدد از نقطه نظر خواص آماری تدوین شده و خواهند شد و از سویی دیگر ابداع آنها منجر به تحول در دیگر شاخه‌های علم فیزیک خواهد شد، به یافتن پاسخی برای برخی از سوالات مطرح شده، خواهیم پرداخت.

### موضوع تحقیق

یکی از مهمترین اهداف علم کیهان‌شناسی توصیف افت و خیزهای اولیه کیهان است که امروزه به صورت ساختارهای بزرگ مقیاس پدید آمده‌اند. بررسی خواص آماری افت و خیزهای چگالی می‌تواند فیزیک و منشاء آنها را تعیین کرده و چگونگی تحول کیهان را در طول زمان بدست دهد.

در سال ۱۹۴۸، گامو<sup>۱</sup>، آلفر<sup>۲</sup> و هرمن<sup>۳</sup> پیش بینی کردند که اگر جهان امروزی از یک انفجار بزرگ اولیه تشکیل شده و ضمناً در حال انبساط باشد، بنابراین بایستی امروزه یک تابش الکترومغناطیسی زمینه در طول موج ریزموج و با دمایی در حدود ۳ تا ۵ درجه کلوین مشاهده شود. این فوتونها که اصطلاحاً تابش زمینه<sup>۴</sup> کیهانی<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند در سال ۱۹۶۴ توسط پنزیاس<sup>۵</sup> و ویلسون<sup>۶</sup> کشف شدند. و در سال ۱۹۷۸ جایزه نوبل فیزیک به کاشفان آن اهدا شد. با مطالعه این فوتونها که به صورت همگن و همسانگرد (احتمالاً) به ما می‌رسند، می‌توان اثر افت و خیزهای چگالی و چگونگی تحول آنها را در کیهان رهگیری کرد. پس از آن گروههای متعددی برای اندازه‌گیری دقیق آن دست به کار شدند، که البته این تلاشها هنوز هم ادامه دارد.

تابش زمینه<sup>۴</sup> کیهانی دورترین چشمه قابل مشاهده کیهانی بوده‌است که یکی از مهمترین آزمایشگاههای بی‌بدیل در حوزه علوم فیزیکی به شمار می‌رود. این فوتونها که از عالمی با سنی در حدود ۳۰۰ هزار سال به ما می‌رسند، حاوی اطلاعات فیزیکی از عالم قبل از دوران واجتیدگی فوتون از (زمینه) شاره<sup>۴</sup> کیهانی و چگونگی تحول آن در طول زمان است. با اندازه‌گیریهای دقیق

<sup>1</sup> Gamow

<sup>2</sup> Alpher

<sup>3</sup> Herman

<sup>4</sup> Cosmic Microwave Background Radiations

<sup>5</sup> Penzias

<sup>6</sup> Wilson

آن توسط ماهواره‌های متعدد مانند COBE<sup>7</sup> (۱۹۹۱) و WMAP<sup>8</sup> (۲۰۰۳) علوم مربوط به فیزیک انرژیهای بالا و کیهانشناسی وارد مرحله نوینی شد. در سال ۲۰۰۶ جایزه نوبل فیزیک به گروه COBE اختصاص یافت.

### پیشینه تحقیق

از نقطه نظر کیهانشناسی همانطور که ذکر شد می‌توان به طور خلاصه تاریخچه روند تحقیقات را به صورت زیر لیست کرد:

- در سال ۱۹۱۵ نظریه نسبیت عام توسط اینشتین ارائه گردید.
- در سال ۱۹۱۸ نظریه تابش جسم سیاه توسط پلانک مبتخر به جایزه نوبل گردید.
- در سال ۱۹۲۲ جوابهای عالم در حال انبساط از معادلات اینشتین توسط فریدمن ارائه گردید.
- در سال ۱۹۲۷ نظریه عالم در حال انبساط توسط لمارت گسترش یافت.
- در سال ۱۹۲۹ عالم در حال انبساط توسط هابل رصد شد.
- در سال ۱۹۴۰ نظریه انفجار بزرگ مطرح گردید.
- در سال ۱۹۴۹ کلمه بیگ-بنگ<sup>9</sup> به مسخره توسط هوپل اولین بار بکار برده شد.
- در سال ۱۹۶۴ تابش زمینه کیهانی کشف شد.
- در دهه ۷۰ مباحثی از جمله دوقطبی در تابش زمینه کیهانی و برهمکنش فوتون با مواد یونیزه مطرح گردید.
- در سال ۱۹۷۸ جایزه نوبل به کاشفان آن اهدا شد.
- در سال ۱۹۸۹ ماهواره COBE پرتاب شد.
- در سال ۲۰۰۳ اولین سری از مشاهدات ماهواره WMAP منتشر گردید.
- در سال ۲۰۰۹ قرار است ماهواره Planck جهت مشاهدات دقیق‌تر از CMB عازم فضا گردد.

طی دو دهه گذشته پیشرفتهای چشمگیری در فهم ما از کیهان و چگونگی تحول آن در طی زمان رخ داده است. اما همانطور که اشاره شد هنوز سوالات زیادی بدون پاسخ مانده‌اند. به نظر می‌رسد ابزارهای بررسی خواص آماری که در حوزه فیزیک سیستمهای پیچیده ابداع شده و می‌شوند می‌تواند رهیافت نوینی در فهم ما از افت و خیز تابش زمینه کیهانی ایجاد کند. در حوزه سیستمهای پیچیده طی یک دهه اخیر الگوریتم‌های مهمی جهت تحلیل افت و خیزهای اندازه‌گیری شده در مباحث مختلف ابداع و بکار گرفته شده‌اند. برای مثال استفاده از آنالیزهای چند فراکتالی به نام DFA و همچنین روش تحلیل فرکانس وقوع و فرآیندهای آبخاری در فیزیک تلاطم و غیره به صورت روز افزون در حوزه‌هایی مانند: فیزیک اقتصاد، پلاسما، بیوفیزیک، رشد

<sup>7</sup> Cosmic Background Explorer

<sup>8</sup> Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

<sup>9</sup> Big-Bang

سطوح ناهموار، گذار فازهای فرایندهای بحرانی، سیگنال‌های بدست آمده از طبیعت مانند لکه‌های خورشیدی، میزان شارش آب رودخانه‌ها و تغییرات آب و هوایی و دمایی و غیره، با توجه به موفقیت‌های کم نظیرشان رشد قابل توجهی یافته است و راه را جهت ایجاد پلی بین کاربردهای این شاخه از علم با دیگر شاخه‌ها از جمله کیهان‌شناسی و تحلیل داده‌ها در این بخش، هموار کرده است.

در همین راستا و با توجه به علاقه‌مندی موجود در تحلیل تابش زمینه کیهان از یک سو و تجربه نه چندان کم در بخش فیزیک سیستم‌های پیچیده و بکار بردن برخی روشهای قدرتمند ما را بر آن داشت که این تحقیق را آغاز کنیم. برخی از نتایج را می‌توان در مراجع ذکر شده یافت.

### اهداف تحقیق

در این تحقیق به طور کلی سه هدف اصلی زیر را دنبال می‌کنم:

(۱) **آشنایی با برخی از نرم‌افزارهای مرتبط با موضوع:** امروزه برای بررسی خواص فیزیکی این مشاهدات نرم‌افزارهای متعددی مانند CAMB، CMBFAST، HEALPix و همچنین CAMB تهیه شده‌است. با توجه به اینکه برای ورود به حوزه تحلیل این داده‌ها، آشنایی با این نرم‌افزارها لازم و ضروری به نظر می‌رسد در ابتدا به مطالعه و آشنایی با آنها می‌پردازیم. با این کار ضمناً آماده خواهیم شد تا داده‌های ماهواره Planck که در آینده نزدیک منتشر خواهد شد را تحلیل کنیم. در ادامه تحقیق متنی تهیه خواهد شد که در آن هر یک از این نرم‌افزارها معرفی شده و اهداف و توانایی‌هایی آنها تبیین می‌گردد. روش نصب و استفاده از آنها برای کاربر نیز به تفصیل شرح داده خواهد شد.

### (۲) مطالعه طیف توان تابش زمینه کیهانی:

در این بخش با توجه به ردپای افت و خیزهای اولیه که در دوران به اصطلاح تورم تولید شده‌اند از یکسو و از طرف دیگر وجود تاریخچه چگونگی تحول ساختارها و همچنین میزان عناصر تشکیل‌دهنده عالم، در افت و خیزهای CMB، بایستی بتوان علاوه بر محاسبه سه قله اول در نمودار طیف توان، چگونگی رفتار طیف را در /های بالاتر یافت چرا که برخی از دیگر اثرات کیهانشناختی در مقیاس‌های زاویه‌ای کوچک یا /های بزرگ غالب می‌شوند. بنابراین در این بخش به طور خلاصه می‌خواهیم اثرات انواع مدل‌های ارائه شده برای دوران تورم و همچنین مدل‌های مربوط به ریسمانهای کیهانی به همراه مدل‌های اثرات بین راهی را به صورت تئوری بر روی فیزیک CMB به دست آوریم و تلاش کنیم بهترین مدل را تعیین کنیم.

(۳) **تحلیل داده‌های تابش زمینه کیهانی:** داده‌های CMB که بین سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ توسط ماهواره WMAP اندازه‌گیری شده‌است، بررسی خواهند شد. اثرات نامطلوبی مانند نوفه‌های دستگاهی به همراه اثراتی همچون

نور کهکشانیها و دیگر منابع تولید امواج ریز موج کهکشانی و فرا کهکشانی باعث مخفی شدن اثرات واقعی افت و خیزها بر روی سطح آخرین پراکندگی می شود. به مدد پیشرفت در تکنولوژی، اندازه گیری این تابش با دقت قابل قبولی امکان پذیر شده است، اما از نقطه نظر مدل کردن و تحلیل داده ها چالشهایی اساسی باقی مانده است که بخشی از آنها در حال ارتقا می باشند در حالی که بخشی دیگر به سبب محدودیت های حاکم بر جهان واقعی مانند آنچه که به نام خطای کیهانی<sup>10</sup> نامیده می شود و تک نمونه بودن نقشه تابش زمینه کیهانی، سدی مهم در مقابل استخراج کمیت های با ارزش آماری به حساب می آیند. بنابراین تلاش برای بیرون کشیدن اطلاعات فیزیکی با کمک روشهای قدرتمند و خالی از هرگونه اشتباه لازم و اجتناب ناپذیر می باشد. با توجه به اندازه گیری های نسبتاً خوب و با جدایی زاویه ای بالا از این افت و خیز سطح آخرین پراکندگی، امکان بررسی این داده ها با تکیه بر روشهای متعدد و دقیق در حوزه تحلیل داده ها فراهم شده است.

قبلاً با کمک این داده ها و استفاده از رهیافت سیستم های پیچیده توانستم برای اولین بار به طور مستقیم افق علی<sup>11</sup> را تعیین کنم و همچنین معادله ای تصادفی بدست آوردم که می توان با استفاده از آن یک نقشه مصنوعی از تابش زمینه کیهانی تولید کرد که دارای خواص کیهانشناختی یکسان با نقشه اصلی باشد. البته لازم به ذکر است که بخشی از این تحقیق در سال ۱۳۸۶ موفق به دریافت رتبه دوم در جشنواره جوان خوارزمی گردید. در ادامه تحقیقات،

الف: فرض همسانگردی آماری<sup>12</sup> که منجر به ایجاد آنچه که طیف توان<sup>13</sup> CMB نامیده می شود و نقش اساسی در استخراج کمیت های اساسی برای توصیف کیهانشناخت عالم بازی می کند و

ب: گوسی بودن تابع توزیع دما را با کمک آنالیزهای چندفراکتالی<sup>14</sup>، تحلیل فرکانس وقوع<sup>15</sup>، مدل آبخاری<sup>16</sup> و جایگشت آنتروپی<sup>17</sup> و دیگر روشهای نوین آماری، بررسی خواهند شد. انتظار می رود در این بخش روشهای نوین تحلیل داده ها نیز ابداع گردد که به توصیف دیگر فرآیندهای فیزیکی نیز کمک می کند.

<sup>10</sup> Cosmic variance

<sup>11</sup> Causal horizon

<sup>12</sup> Statistical Isotropy

<sup>13</sup> Power spectrum

<sup>14</sup> Fractal analysis

<sup>15</sup> Level crossing analysis

<sup>16</sup> Multiplicative cascade model

<sup>17</sup> Permutation entropy

## گزارشی از فعالیت‌های انجام شده

الف- جمع آوری اطلاعات اولیه در بخش نرم‌افزارهای موجود و همچنین فیزیک حاکم بر تابش زمینه کیهان  
ب- تدوین مطالبی در مورد تحلیل داده‌ها در نجوم و کیهان‌شناسی (در منزلگاه اینجانب به آدرس <http://faculties.sbu.ac.ir/~movahed> قابل دریافت می‌باشد).

ج- مبانی و ساختار نرم افزار HEALPix مطالعه شد. یادگیری و تسلط بیشتر بر سیستم عامل لینوکس جهت نصب و کار با محیط HEALPix و CMBFAST و دیگر نرم افزارهای محاسبات طیف CMB در حال انجام است.

د- تعمیم آنالیز چند فراکتالی در بُدهای بالا برای استفاده در CMB. در این بخش با تعمیم مطالعات قبلی دریافتیم که بررسی تابع افت و خیز مبین یک مقیاس زاویه‌ای برای جدا کردن مقیاس همگنی و همسانگردی عالم، می‌باشد. تحلیل‌های بیشتر در این حوزه در حال انجام است.

ه- بررسی چگونگی عملکرد و بازده برخی از روشهای تمیزسازی داده‌ها و مانند F-DFA و SVD و Tikhonov. که برای اولین بار برای تعداد لکه‌های خورشیدی و میزان آب رودخانه‌ها به کار برده شد.

و- مطالعه پیرامون فیزیک CMB و چگونگی محاسبه طیف توان. در این بخش، کتاب‌های جدید، و مقالات مهم در این زمینه به منظور شناخت دقیق CMB و فیزیک افت و خیزها و آثارشان بر روی طیف CMB مطالعه شد.

ز- تهیه یک پوستر جهت ارائه در مدرسه تابستانی سال ۲۰۰۸ مرکز IUCAA هند.

ح- با بسط آنالیز چندفراکتالی در تحلیل داده‌های سال ۲۰۰۳ میلادی ماهواره WMAP توانستم یک طول مشخصه تعیین کنم که به نظر می‌رسد همان افق علی می‌باشد. تحلیل در این بخش ادامه دارد.

و- بررسی مدل‌های گرانتهای تعمیم‌یافته  $f(R)$  و اثر آن بر روی طیف توان تابش زمینه کیهان. در این بخش به عنوان اولین قدم نشان داده شد که طیف توان تابش زمینه کیهانی و پارامترهای مستخرج از آن مانند پارامتر انتقال از یک سو در انتقال به سرخ‌های بالا و نوسانات اکوستیک باریونی از طرف دیگر در انتقال به سرخ‌های کم به عنوان شاخص‌هایی برای بررسی دینامیک کیهان می‌باشند. این تحقیق منجر به مقاله‌ای شد که اخیراً برای PRD فرستاده شده‌است ([arXiv:0904.4390v1](http://arXiv.org/abs/0904.4390v1)). سپس در مرحله بعد می‌توان همبستگی داده‌های حاصل از تابش زمینه را با ساختار بزرگ مقیاس را مورد مطالعه قرار داد و از آن به عنوان محک جدیدی برای تبیین دینامیک کیهان استفاده کرد.

## مراجع

- [1] Peng C K, Buldyrev S V, Havlin S, Simons M, Stanley H E and Goldberger A L, 1994 *Phys. Rev. E* 49 1685  
[2] Ivanova K, Ausloos M, Clothiaux E E and Ackerman T P, 2000 *Europhys. Lett.* 52 40  
[3] Malamud B D and Turcotte D L, 1999 *J. Stat. Plan. Inference.* 80 173



- [4] Alados C L and Huffman M A, 2000 *Ethnology* 106 105
- [5] Mantegna R N and Stanley H E, 2000 *An Introduction to Econophysics* (Cambridge: Cambridge University Press)
- [6] A. Eke, P. Herman, L. Kocsis and L. R. Kozak, *Physiol. Meas.* 23, R1-R38 (2002).
- [7] H. E. Hurst, R. P. Black and Y. M. Simaika Y M, *Longterm storage. An experimental study* (Constable London) (1965).
- [8] F. Shahbazi, S. Sobhanian, M. Reza Rahimi Tabar, S. Khorram, G.R. Frootan, and H. Zahed, *J. Phys. A* 36, 2517 (2003).
- [9] A. Bahraminasab, M. Sadegh Movahed, S. D. Nassiri, A. A. Masoudi *Journal of Statistical Physics*, 124, No. 6, September (2006),
- [10] M. Sadegh Movahed, A. Bahraminasab, H. Reza zadeh, A. A. Masoudi, *J. Phys. A: Math. Gen.* 39 (2006) 3903–3909.
- [11] G. R. Jafari, M. Sadegh Movahed, S. M. Fazeli, M. Rahimi Tabar and A. F. Masoudi, *J. Stat. Mech* (2006), P06008 .
- [12] M. Sadegh Movahed, F. Ghasemi, S. Rahvar and M. Rahimi Tabar, arXiv:astro-ph/0602461
- [13] F. Ghasemi, A. Bahraminasab, M. Sadegh Movahed, S. Rahvar, K. R. Sreenivasan and M. Rahimi Tabar, *J. Stat. Mech.* (2006) P11008.
- [14] A. Hajian and T. Souradeep, arxiv:astro-ph/0308001
- [15] A. Hajian and T. Souradeep, arxiv:astro-ph/0406354
- [16] A. Hajian and T. Souradeep, arxiv:astro-ph/0502248
- [17] A. Hajian and T. Souradeep, arxiv:astro-ph/0607153