

## وابستگی فاصله بهینه به هندسه آرایه و مشخصات پرتوهای کیهانی

لیلا رافضی، گوهر رستگارزاده\*

دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸ ویرایش نهایی: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

### چکیده

یکی از روش‌های متداول در مطالعه بهمن‌های گسترده هوایی ناشی از پرتوهای کیهانی در سطح زمین استفاده از آرایه‌های آشکارساز سوسوزن است. ابعاد آرایه و فاصله آشکارسازها از جمله پارامترهایی هستند که در تعیین بازه انرژی قابل آشکارسازی توسط آن آرایه، از اهمیت برخوردارند. علاوه بر این، هندسه آرایه در تعیین فاصله بهینه  $R_{opt}$ ، یعنی فاصله‌ای از محور بهمن که در آنجا عدم قطعیت در تعیین چگالی عرضی ذرات ثانویه کمینه است نقش مهمی دارد. در کار حاضر وابستگی  $R_{opt}$  به هندسه آرایه و مشخصات پرتوهای کیهانی اولیه برای آرایه البرز-۱ مورد مطالعه قرار گرفته است. در کار حاضر نشان داده شده است که  $R_{opt}$  به مشخصات پرتو اولیه یعنی جرم، انرژی و زاویه ورود این ذرات بستگی ندارد و می‌توان آن را مستقل از خصوصیات ذره اولیه در نظر گرفت. از طرفی  $R_{opt}$  به شکل هندسی آرایه و مخصوصاً فاصله آشکارسازها وابسته است. بررسی‌های انجام گرفته در کار حاضر نشان می‌دهد که شکل چیدمان و ابعاد آرایه خوشه‌ای مناسب‌ترین چیدمان برای بازه انرژی قابل رصد توسط آرایه البرز-۱ ( $10^{10} \text{eV}$ ) است و فاصله بهینه برای این چیدمان، برابر با  $9 \pm 1 \text{m}$  به دست آمده است.

**کلیدواژگان:** پرتو کیهانی، بهمن‌های گسترده هوایی، فاصله بهینه، آرایه‌های آشکارساز پرتوهای کیهانی

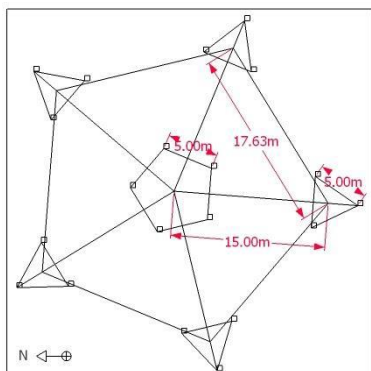
### مقدمه

آرایه یعنی فاصله بین آشکارسازها و شکل هندسی آن بررسی شده است. تحلیل‌ها و محاسبات بر روی بهمن‌های شبیه سازی شده در آرایه البرز-۱ انجام شده است. همچنین تأثیر مشخصه‌های پرتوهای اولیه یعنی جهت، انرژی و جرم مورد بررسی قرار گرفته است.

در کار حاضر ۱۰۰۰۰ بهمن در بازه انرژی  $10^7 - 10^{10} \text{eV}$  برای اولیه‌های پروتون، کربن و آهن در زوایای سمت الرأس ۰، ۲۵ و ۴۵ درجه توسط کُد CORSIKA با مدل اندرکنش هادرونی انرژی بالا QGSJET-04 و انرژی پایین GHEISHA شبیه‌سازی شده است. موقعیت هسته هر بهمن در ۸۱ مکان مختلف نسبت به مرکز آرایه در فاصله بین ۳۰-۰

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای آشکارسازی بهمن‌های هوایی [۱] استفاده از آرایه آشکارسازهای ذرات است. از داده‌هایی که هر آرایه ثبت می‌کند، می‌توان اطلاعاتی پیرامون ذرات اولیه از جمله انرژی، ترکیب جرمی و جهت فرودی آنها به دست آورد. معمولاً تمام آرایه‌های آشکارساز پرتوهای کیهانی امکان ثبت زمان رسیدن ذرات ثانویه را دارند. همچنین برای هر آرایه از آشکارسازها فاصله بهینه  $R_{opt}$  منحصر به فرودی وجود دارد. فاصله بهینه در واقع فاصله‌ای از هسته بهمن است که در آنجا خطای حاصل از برازش تابع توزیع عرضی کمترین مقدار را دارد [۲]. با تعیین چگالی ذرات در این فاصله می‌توان انرژی پرتو اولیه را تخمین زد [۳، ۴]. در این مقاله وابستگی  $R_{opt}$  به چیدمان

\* نویسنده مسئول: grastegar@semnan.ac.ir



شکل ۱. نمای شماتیک از چیدمان خوشه‌ای آرایه البرز-۱.

### تأثیر هندسه آرایه بر فاصله بهینه

در این بخش به مطالعه بستگی  $R_{opt}$  به هندسه آرایه می‌پردازیم. هندسه آرایه را به دو بخش مجزا می‌توان تقسیم کرد. بخش اول فاصله آشکارسازها نسبت به هم و بخش دوم شکل هندسی آرایه است. در زیر نتایج بررسی هر دو بخش به‌طور جداگانه آمده است.

### فاصله بین آشکارسازها

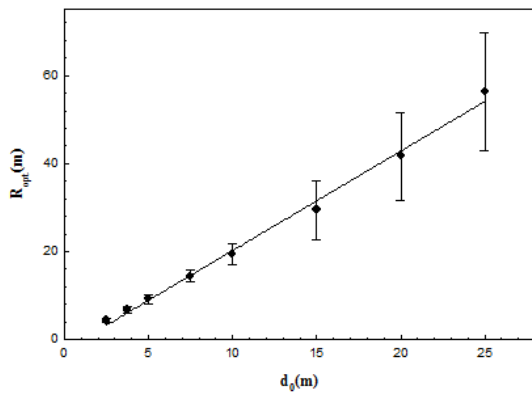
همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد چیدمان آرایه البرز-۱ چیدمان خوشه‌ای است. در این چیدمان حداقل فاصله دو آشکارساز مجاور،  $d_{min}$ ، برابر با  $0.5m$  است. اگر احتمال  $P_{tr}$  را به‌صورت احتمال ثابت رویدادها با شرط راه‌اندازی البرز تعریف کنیم، واضح است که با تغییر  $d_{min}$ ، احتمال ثبت،  $P_{tr}$  و همچنین فاصله بهینه تغییر خواهد کرد. احتمال ثبت، احتمالی است که یک بهمن توسط آرایه ثبت می‌شود و از نسبت بهمن‌هایی که شرط راه‌اندازی را برآورده می‌کنند به کل بهمن‌های شبیه‌سازی شده به‌دست می‌آید. در این بخش با تغییر  $d_{min}$  در بازه  $0.25m - 0.5m$  مقادیر متناظر برای فاصله بهینه، خطا در محاسبه فاصله بهینه،  $\sigma_{R_{opt}}(m)$  و احتمال ثبت را به‌دست آورده و نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

متر انتخاب شده است که برای نشان دادن آمار صحیح‌تر از حاصل ضرب ۸۱ در تعداد بهمن‌ها استفاده شده است.  $R_{opt}$  با استفاده از تابع توزیع عرضی شبیه NKG [۵] به‌دست آمده است. تمام مراحل بازسازی بهمن‌ها و محاسبه  $R_{opt}$  از طریق برنامه نویسی با کد فرترن انجام شده‌اند که به‌طور مفصل در کارهای قبلی آمده است. [۲]

### آرایه البرز-۱

آرایه البرز-۱ واقع در دانشگاه صنعتی شریف در حال راه‌اندازی است. این آرایه با مختصات جغرافیایی  $E$   $20' 51'' N$  و  $35' 43'' E$  در ارتفاع ۱۲۰۰ متری از سطح آزاد دریا ( $890 g/cm^2$ ) و مساحت  $1600 m^2$ ، به آشکارسازی پرتوهای کیهانی در انرژی‌های اطراف زانو ( $10^{10} eV$ ) خواهد پرداخت. چیدمان آرایه به‌شکل یک خوشه داخلی پنج ضلعی با ضلع  $5 m$  و یک خوشه خارجی پنج ضلعی به ضلع  $17.63 m$  که پنج سه ضلعی متساوی‌الاضلاع هریک به ضلع  $5 m$  روی رئوس آن قرار گرفته‌اند، انتخاب شده است. رئوس خوشه‌های داخلی و خارجی محل آشکارسازهایی هستند که هر یک دارای ابعادی به اندازه  $0.5 m \times 0.5 m$  می‌باشند (شکل ۱) [۶ و ۷].

همچنین نشان داده شده است که شرط راه‌اندازی که در آن ۵ آشکارساز خوشه مرکزی حتماً ذرات ثانویه ثبت کرده باشند (شرط راه‌اندازی البرز) برای بازه انرژی آرایه البرز-۱ شرط مناسبی است [۷]. در حال حاضر ثبت اطلاعات و آزمایش توسط خوشه مرکزی ادامه دارد.



شکل ۲. نمودار  $R_{opt}$  برحسب حداقل فاصله بین آشکارسازها حاصل از ۸۱۰۰۰ بهمن عمودی پروتون با انرژی ۳۰۰ TeV.

### وابستگی به چیدمان هندسی آرایه

در این بخش سه چیدمان هندسی دیگر علاوه بر چیدمان خوشه‌ای را مورد بررسی قرار دادیم و تأثیر این چیدمان‌ها را روی مقدار  $R_{opt}$  و سایر پارامترها بررسی کردیم. در این بخش از ۸۱۰۰۰ بهمن عمودی پروتون استفاده کرده‌ایم. به‌خاطر متفاوت بودن چیدمان‌ها، شرط راه‌اندازی را ثابت هم‌زمان ذرات توسط حداقل ۳ آشکارساز از ۲۰ آشکارساز تعریف کردیم.

در این بخش از چیدمان خوشه‌ای به‌نام "پنج ضلعی" یاد می‌کنیم که در بالا و سمت چپ شکل ۳ نمایش داده شده است. شکل بالا و سمت راست چیدمان مستطیلی که آشکارسازها به فاصله ۱۰ متر از هم قرار گرفته‌اند، شکل پایین و سمت چپ چیدمان لوزی که حداقل فاصله بین آشکارسازها در آن حدود ۷m است و شکل پایین و سمت راست چیدمان چهارم که مثلثی شکل هست را نمایش می‌دهد. در چیدمان مثلثی از آرایش خاصی استفاده کرده‌ایم که در آن آشکارسازها در رئوس مثلث‌ها به‌صورت جفت در فاصله یک متری هم قرار گرفته‌اند. هدف از انتخاب چنین آرایشی این بود که تحقیق کنیم آیا کاهش فاصله بین دو آشکارساز مجاور تأثیری در دقت محاسبه  $R_{opt}$  و مقادیر سایر پارامترها

با افزایش مقیاس به‌دلیل کاهش چگالی، احتمال ثبت کاهش می‌یابد و همچنین خطا در محاسبه  $R_{opt}$  افزایش می‌یابد. اگرچه احتمال ثبت در مقیاس‌های کوچک‌تر بیشتر است ولی به‌دلیل عدم قطعیت ذاتی بالا در چگالی ذرات ثانویه در فواصل خیلی نزدیک به هسته بهمن و همچنین به‌خاطر افزایش مساحت آرایه، به‌نظر می‌رسد که مقیاس اصلی با حداقل فاصله ۵ متر بین آشکارسازها گزینه بهتری نسبت به سایر مقیاس‌ها باشد.

جدول ۱. تأثیر  $d_{min}$  بر  $R_{opt}$ ، خطای آن و احتمال ثبت برای ۸۱۰۰۰ بهمن عمودی پروتون با انرژی ۳۰۰ TeV.

$P_{tr}$	$\sigma_{R_{opt}}(m)$	$\bar{R}_{opt}(m)$	$d_{min}(m)$
۰٫۵۹	۰٫۴۹	۴٫۳۱	۲٫۵۰
۰٫۵۹	۰٫۷۴	۶٫۶۹	۳٫۷۵
۰٫۵۷	۰٫۹۵	۹٫۱۲	۵٫۰۰
۰٫۵۱	۱٫۳۵	۱۴٫۳۳	۷٫۵۰
۰٫۴۵	۲٫۴۱	۱۹٫۴۴	۱۰٫۰۰
۰٫۳۲	۶٫۸۰	۲۹٫۴۱	۱۵٫۰۰
۰٫۲۳	۱۰٫۰۷	۴۱٫۶۱	۲۰٫۰۰
۰٫۱۳	۱۳٫۴۰	۵۶٫۴۵	۲۵٫۰۰

شکل ۲ نمودار  $R_{opt}$  را برحسب حداقل فاصله بین آشکارسازها در آرایه نشان می‌دهد. با افزایش فاصله هم مقدار  $R_{opt}$  و هم مقدار خطا در محاسبه  $R_{opt}$  افزایش می‌یابد. دلیل افزایش خطا هم به‌خاطر افزایش پهنای توزیع و هم به‌دلیل تعداد کم بهمن‌های ثبت شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بین  $R_{opt}$  و فاصله آشکارسازها رابطه خطی وجود دارد. معادله این خط به‌صورت زیر است:

$$R_{opt} = -۲٫۴۲ + ۲٫۲۶ d_{min} \quad ۱$$

درصد را پوشش می‌دهد که با توجه به زیاد شدن فاصله آشکارسازها در چیدمان مستطیلی این نتیجه مورد انتظار بود. ستون‌های سوم و چهارم به ترتیب مقادیر میانگین  $R_{opt}$  و انحراف معیار  $R_{opt}$  هستند.

جدول ۲. نتایج حاصل از ۸۱۰۰۰ بهمن عمودی پروتون با انرژی  $300\text{ TeV}$  برای چهار چیدمان هندسی مختلف.

چیدمان هندسی آرایه	$d_{min}(m)$	%A	$\bar{R}_{opt}(m)$	$\sigma_{R_{opt}}(m)$
پنج ضلعی	۵,۰۰	۴۶	۹,۰۵	۱,۱۲
مستطیلی	۱۰,۰۰	۷۵	۱۴,۵۶	۱,۸۴
لوزی	۷,۰۷	۵۰	۱۰,۷۸	۱,۳۲
مثلی*	۵,۰۰	۳۳	۸,۰۸	۳,۰۷

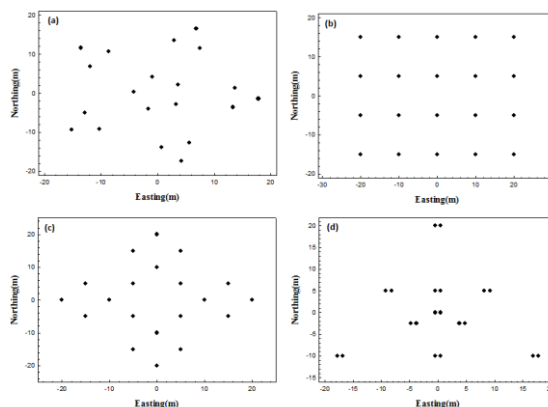
\* حداقل فاصله بین جفت آشکارسازها

با مقایسه ستون‌های دوم (حداقل فاصله بین دو آشکارساز) و چهارم ( $R_{opt}$  برای هر چیدمان)، همان‌طور که انتظار داریم با افزایش  $d_{min}$ ،  $R_{opt}$  هم افزایش می‌یابد و در مورد چیدمان مثلی، خطای بیشتری در اندازه‌گیری  $R_{opt}$  خواهیم داشت. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود در چیدمان مستطیلی با  $d_{min} = 10\text{ m}$  مقدار  $R_{opt} = 14,56\text{ m}$  به دست می‌آید، در حالی که در چیدمان خوشه‌ای با همین مقدار برای  $d_{min}$  مقدار  $R_{opt} = 19,44\text{ m}$  به دست می‌آید، (جدول ۱). این مطلب نشان دهنده این است که نه تنها مقدار  $d_{min}$  بلکه چیدمان آرایه نیز در تعیین فاصله  $R_{opt}$  اهمیت دارد.

### بررسی وابستگی فاصله بهینه به مشخصه‌های پرتو کیهانی اولیه

در بخش قبل وابستگی  $R_{opt}$  به شکل هندسی آرایه را تحقیق کردیم. در این بخش وابستگی این فاصله را

ایجاد می‌کند؟ در تمامی چیدمان‌ها سعی شده است از مساحت قابل دسترسی چیدمان آرایه‌ها که فضایی در ابعاد  $40 \times 40\text{ m}^2$  است استفاده شود و همچنین ابعاد آشکارسازها یکسان و برابر با ابعاد واقعی البرز یعنی  $0,5 \times 0,5\text{ m}^2$  در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. آرایش چهار چیدمان هندسی که به ترتیب از بالا سمت راست تا پایین سمت چپ به نام‌های مستطیلی، پنج ضلعی (خوشه‌ای)، مثلی و لوزی مشخص شده‌اند.

جدول ۲ نتایج این بازسازی را نشان می‌دهد. ستون اول نام چیدمان مورد نظر و ستون دوم حداقل فاصله بین دو آشکارساز،  $d_{min}$  را نشان می‌دهد که در چیدمان مثلی این فاصله حداقل فاصله بین جفت آشکارسازها است. ستون سوم درصد مساحتی از مساحت کل که توسط آرایه تحت پوشش قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد و با نماد %A نشان داده‌ایم که از رابطه زیر به دست آورده شده است.

$$A\% = \frac{A_{Array}}{A_{Total}} \times 100 \quad 2$$

که در این رابطه  $A_{Array}$  مساحت کل آشکارسازها و  $A_{Total}$  مساحت کلی است که برای چیدمان آرایه در نظر گرفته شده است. چیدمان مستطیلی ۷۵ درصد سطحی که به ساخت آرایه اختصاص داده شده است را می‌پوشاند، در حالی که چیدمان خوشه‌ای کمتر از ۵۰

می‌رود و فاصله بهینه به زاویه ورود پرتو اولیه وابسته نیست.

جدول ۳. مقادیر  $R_{opt}$  و سایر پارامترها برای سه زاویه ورودی ۲۵.۰ و ۴۵ درجه حاصل از ۸۱۰۰۰ بهمن پروتون با انرژی ۳۰۰ TeV در هر زاویه است.

$P_{tr}$	$\sigma_{R_{opt}}(m)$	$\bar{R}_{opt}(m)$	زاویه ورودی (درجه)
۰.۳۳۳	۰.۹۶	۹.۰۷	۰
۰.۱۹۶	۰.۹۵	۸.۹۴	۲۵
۰.۰۱۵	۱.۰۵	۸.۴۹	۴۵

جدول ۳  $R_{opt}$ ، انحراف معیار آن و احتمال ثبت برای هر زاویه را نشان می‌دهد. احتمال ثبت با افزایش زاویه ورودی کاهش می‌یابد. می‌توان گفت که بهمن‌هایی با زاویه ورودی بزرگ با احتمال کمتری قابل مشاهده هستند.

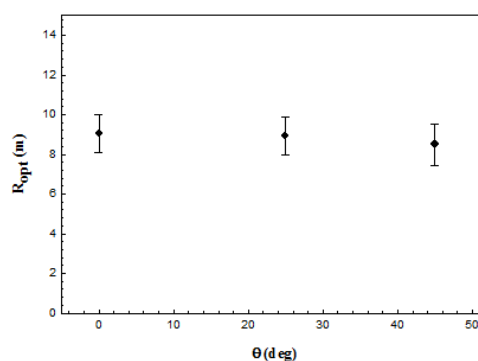
### انرژی اولیه

در این قسمت از شش مجموعه ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بهمن‌های عمودی پروتون استفاده کرده‌ایم. انرژی مجموعه‌ها در بازه ۱۰-۳۰۰۰ TeV انتخاب شده‌اند. برای این شش مجموعه، هسته هر بهمن را در ۸۱ مکان بین ۰-۳۰ متری مرکز مورد بررسی قرار دادیم. احتمال ثبت در انرژی ۱۰ TeV خیلی خیلی کم است، بنابراین از وارد کردن نتایج این انرژی در نمودار و جدول خودداری کردیم. نتایج حاصل از این بازسازی‌ها در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که انتظار داشتیم احتمال ثبت با افزایش انرژی اولیه‌ها افزایش می‌یابد. در این جدول مشاهده می‌شود  $R_{opt}$  با افزایش انرژی به‌طور جزئی افزایش می‌یابد.

به مشخصه‌های ذره اولیه یعنی جرم، انرژی و جهت ورود آن مورد بررسی قرار می‌دهیم.

### جهت ورود اولیه

برای این که تأثیر جهت ورود بهمن‌ها را مورد بررسی قرار دهیم از سه مجموعه ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بهمن پروتون با انرژی یکسان ۳۰۰ TeV (آرایه البرز-۱) در این انرژی با توجه به شار پرتوهای کیهانی بیشترین احتمال ثبت رویداد را دارد. با سه زاویه ۰، ۲۵ و ۴۵ درجه استفاده کرده‌ایم. برای این سه مجموعه، محل هسته هر بهمن را در ۸۱ مکان بین ۰-۳۰ متری مرکز آرایه تغییر داده‌ایم. پس از محاسبه  $R_{opt}$  برای هر بهمن،  $R_{opt}$  میانگین و مقدار انحراف معیار آن را با برازش تابع گاوسی بر توزیع آنها به دست آوردیم. شکل ۴ نمودار  $R_{opt}$  میانگین را برحسب زاویه ورود نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل به خوبی دیده می‌شود  $R_{opt}$  به زاویه ورود پرتو اولیه بستگی ندارد.



شکل ۴. نمودار مقدار میانگین  $R_{opt}$  برحسب زاویه ورودی بهمن که حاصل از بررسی ۸۱۰۰۰ بهمن پروتون با انرژی ۳۰۰ TeV در هر زاویه است.

در واقع با وارد کردن شرط راه‌اندازی، بهمن‌های مابقی که خیلی از مرکز بهمن دور هستند، حذف شده‌اند و هر بهمنی که تعداد مشخصی ذره به آشکار ساز برساند ثبت می‌شود و به این ترتیب تأثیر زاویه ورودی (که کم شدن تعداد ذرات ثانویه در سطح مشاهده است.) از بین

## جرم ذره اولیه

در این قسمت به بررسی تأثیر جرم یا نوع ذره اولیه بر  $R_{opt}$  پرداخته‌ایم. جدول ۵ و شکل ۶ نتایج حاصل از شبیه‌سازی سه مجموعه ۱۰۰۰ تایی از بهمن‌های عمودی پروتون، کربن و آهن با انرژی  $300 \text{ TeV}$  را نشان می‌دهد. محل هسته هر بهمن در ۸۱ مکان بین ۳۰-۰ متری مرکز مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مقدار  $R_{opt}$ ها در این جدول دیده می‌شود که  $R_{opt}$  به جرم ذره اولیه هم بستگی ناچیزی دارد. کم شدن احتمال ثبت با افزایش جرم اولیه، به این دلیل است که با افزایش جرم اولیه ذرات در ارتفاعات بالاتر به عمق بیشینه خود می‌رسند و در نتیجه تعداد ذرات ثانویه کمتری در سطح مشاهده آشکارسازی می‌شوند.

جدول ۵. مقادیر  $R_{opt}$  و سایر پارامترها حاصل از سه مجموعه ۸۱۰۰۰ بهمن پروتون، کربن و آهن با انرژی  $300 \text{ TeV}$

نام ذره اولیه	$\bar{R}_{opt}(m)$	$\sigma_{R_{opt}}(m)$	$P_{tr}$
پروتون	۹,۰۷	۰,۹۶	۰,۳۷۳
کربن	۸,۱۸	۰,۹۵	۰,۱۴۷
آهن	۷,۹۲	۰,۹۷	۰,۰۲۶

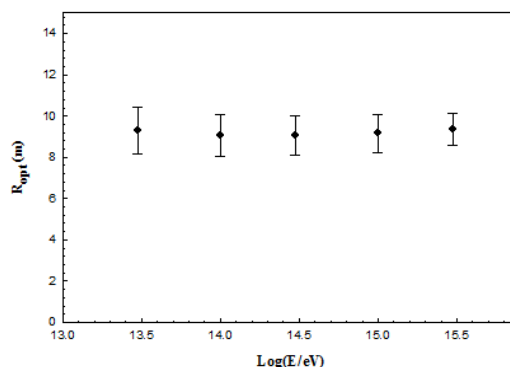
## نتیجه‌گیری

با استفاده از نتایج به دست آمده از بیش از ۱۰۰۰۰۰ بهمن شبیه‌سازی شده با کد CORSIKA، در جرم، انرژی و زاویه ورود مختلف برای آرایه البرز-۱ نشان دادیم که فاصله بهینه، که در آن فاصله عدم قطعیت در تعیین چگالی عرضی ذرات ثانویه کمینه است، برابر با  $9 \pm 1 \text{ m}$  از هسته بهمن است. همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهند که این فاصله به مشخصات پرتو اولیه، یعنی جرم، انرژی و زاویه ورود این ذرات بستگی جزئی دارد و می‌توان آن را مستقل از خصوصیات ذره اولیه در نظر گرفت. با استفاده از این ویژگی می‌توان با

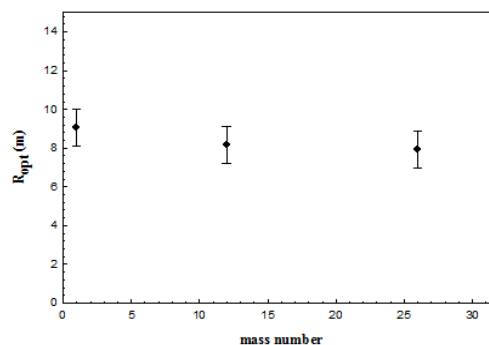
جدول ۴. مقادیر  $R_{opt}$  و سایر پارامترها برای انرژی‌های مختلف به دست آمده از ۸۱۰۰۰ بهمن عمودی پروتون.

$P_{tr}$	$\sigma_{R_{opt}}(m)$	$\bar{R}_{opt}(m)$	E(TeV)
۰,۰۰۵	۱,۱۴	۹,۲۹	۳۰
۰,۰۶۹	۱,۰۳	۹,۰۵	۱۰۰
۰,۳۷۳	۰,۹۶	۹,۰۷	۳۰۰
۰,۸۶۹	۰,۹۱	۹,۱۶	۱۰۰۰
۰,۹۹۸	۰,۷۸	۹,۳۷	۳۰۰۰

شکل ۵ نمودار  $R_{opt}$  برحسب لگاریتم انرژی را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً گفته شد و در این شکل هم مشاهده می‌شود، مقدار  $R_{opt}$  با افزایش انرژی تغییر چندانی نمی‌کند و می‌توان  $R_{opt}$  را مستقل از انرژی ذره اولیه در نظر گرفت.



شکل ۵. مقدار  $R_{opt}$  برحسب لگاریتم انرژی به دست آمده از ۸۱۰۰۰ بهمن عمودی پروتون در هر انرژی.



شکل ۶. نمودار  $R_{opt}$  برحسب جرم ذره ورودی.

ثانویه در فاصله بهینه بهمین، بیستمین کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۴.

[5] D. Newton, J. Knapp, A.A. Watson, The Optimum Distance at which to Determine the Size of a Giant Air Shower, *Astroparticle Physics* **26** (2007) 414-419.

[۶] ل. رافضی، گ. رستگرازاده، اثر چیدمان آرایه پرتوهای کیهانی در تعیین فاصله بهینه، بیست و یکمین کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه شیراز، ۱۳۹۵.

[6] Y. Pezeshkian et al., Scintillation detectors of the Alborz-I experiment, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. **773**, (2015) 117-123.

[۷] س. عبدالهی، ی. پزشکیان، م. بهمین آبادی، آرایه البرز-۱: مطالعه چیدمان خوشه‌ای آرایه و پاسخ آن به شرطهای راهاندازی مختلف در محدوده زانوی پرتوهای کیهانی، نوزدهمین کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۳.

تعیین چگالی در این فاصله به خصوصیات ذره اولیه پی‌برد. از طرفی نشان داده‌ایم که این پارامتر به شکل هندسی آرایه و مخصوصاً به فاصله آشکارها از هم وابسته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در چیدمان و ابعاد آرایه خوشه‌ای، فاصله بهینه نه خیلی نزدیک به هسته بهمین و نه خیلی دور از آن است. در نتیجه نوسانات ذاتی کاهش یافته و احتمال ثبت زیاد می‌شود و مناسب‌ترین چیدمان برای بازه انرژی قابل رصد توسط آرایه البرز-۱ محسوب می‌شود.

## مرجع‌ها

[۱] ب. نخعی امرودی، س. دوست محمدی، ح. ارجمند کرمانی، س. ج. فاطمی، بررسی پارامتر عمر طولی و عرضی بهمین‌های گسترده هوایی، *مجله پژوهش سیستم‌های بس‌ذره‌ای*، ۶، ۱۲، (۱۳۹۵)، ۷۰-۶۷.

[۲] گ. رستگرازاده، ل. رافضی، ح. عباس‌نژاد، تعیین فاصله بهینه در توزیع عرضی ذرات ثانویه در بهمین‌های گسترده هوایی در آرایه البرز-۱، *بیستمین کنفرانس فیزیک ایران*، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۴.

[۳] ل. رافضی، گ. رستگرازاده، تأثیر شکل تابع توزیع عرضی در تخمین انرژی پرتو کیهانی، نوزدهمین گردهمایی پژوهشی نجوم، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ۱۳۹۵.

[۴] ل. رافضی، ا. دیانی، گ. رستگرازاده، تخمین مقدار انرژی پرتوهای کیهانی از طریق محاسبه چگالی ذرات

## **Dependence of the optimum distance on array geometry and characteristics of cosmic ray**

**Leila Rafezi, Gohar Rastegarzadeh\***

Faculty of Physics, Semnan University, Semnan, Iran

Received: 08.11.2016 Final revised: 01.02.2017 Accepted: 13.02.2017

### **Abstract**

One of the common methods in the study of cosmic rays induced extensive air shower on the Earth's surface is using an array of scintillation detectors. Dimensions and distances between detectors are among the most important parameters that determine the energy range detectable by the array. Furthermore, the geometry of the array has an important role in determining of optimum distance  $R_{opt}$ , which is defined as the distance from the shower core, where uncertainty in lateral density of secondary particles is minimized. In the present work, dependence of  $R_{opt}$  on array geometry and characteristics of cosmic rays has been studied for the Alborz -1 array. It is shown that the value of  $R_{opt}$  is independent on shower characteristics like energy, incident angle and primary mass. On the other hand, according to our results, the  $R_{opt}$  value has explicit dependence on array geometry specially distances between detectors. Our investigation shows that the cluster layout is the best layout for the detectable energy range of ALBORZ-1 array ( $10^{15}$  eV). We have found  $R_{opt} = 9 \pm 1$  m for the ALBORZ-1 array

**Keywords:** Cosmic ray, Extensive air shower, Optimum distance, Cosmic ray detector array

---

\* Corresponding Author: [grastegar@semnan.ac.ir](mailto:grastegar@semnan.ac.ir)