

## SURA-4؛ مجموعه اول تجزیه و تحلیل داده های تجربی

سبوحی، محمد<sup>۱</sup>؛ رستگارزاده، گوهر<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

### چکیده

SURA-4 به عنوان نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان، فعالیت خود را آغاز نموده است. این آرایه در تلاش است تا با استفاده از آشکارسازی سیگنال های رادیویی به بررسی مشخصات پرتو های کیهانی بپردازد. در این پژوهش به بررسی اولین مجموعه از داده هایی که به صورت خودکار و با توجه به مکانیزم های تعیین شده، توسط آرایه رادیویی ثبت شده اند، خواهیم پرداخت. بررسی تعداد رخداد های ثبت شده در طول شبانه روز و تعیین زوایای سمتی و سوسویی و همچنین بررسی توزیع زاویه ای بهمن های هوایی آشکارسازی شده از موارد مورد مطالعه در این پژوهش می باشد. داده های حاصل نشان می دهند که تطابق قابل قبولی میان نتایج مورد انتظار و رخداد های ثبت شده وجود دارد.

**واژه های کلیدی:** آرایه رادیویی دانشگاه سمنان (SURA)، پرتو های کیهانی، آشکارسازی رادیویی

## SURA-4; First set of experimental data analysis

Sabouhi, Mohammad<sup>1</sup>; Rastegarzadeh, Gohar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Physics Faculty, Semnan University, Semnan

### Abstract

SURA-4 as the first prototype of Semnan University Radio Array has started its operation. This array tries to investigate cosmic rays with an investigation on the radio signal properties. In this study, we investigate the first set of experimental data which has been recorded in a self-trigger mode with predefined conditions. It includes an investigation of the recorded number of events per day and measuring the zenith and azimuth angles of the detected events as well as investigating the angular distribution of detected extensive air showers. The results show good agreements with what we expect from such an experiment.

**Keywords:** Semnan University Radio Array (SURA), Cosmic Rays, Radio Detection

**PACS No.** 90.95

### مقدمه

صورت همزمان با سایر روش های آشکارسازی و همچنین امکان تعیین پارامتر های اصلی یک پرتو کیهانی همچون نوع ذره و انرژی اولیه آن می باشد [۲]. به همین دلیل طی سالیان گذشته آزمایشگاه های مختلفی، تجهیزات رادیویی را نیز در کنار سایر روش های آشکار سازی مورد استفاده قرار داده اند. آرایه رادیویی دانشگاه سمنان کار خود را با هدف آشکارسازی رادیویی پرتو های کیهانی آغاز نموده است. این آرایه در حال حاضر با بهره گیری از ۵ آنتن

آشکارسازی پرتو های کیهانی در سطح زمین به روش های مختلف امکان پذیر است. یکی از این روش که در سال های گذشته توجه بسیاری را به خود جلب کرده است، آشکارسازی رادیویی پرتو های کیهانی است [۱]. این روش دارای مزیت هایی همچون امکان فعالیت در شرایط مختلف جوی و در تمام مدت شبانه روز، هزینه تمام شده کم تر نسبت به سایر روش ها، امکان فعالیت به

رادییوی که بر روی پشت بام دانشکده فیزیک استقرار یافته اند ، سعی در تحلیل داده های رادیویی و معرفی کاندیداهای احتمالی رخدادهایی دارد که در نتیجه ورود یک پرتو کیهانی به جو زمین پدید آمده اند [۳]. این آرایه در مرحله فعلی به صورت نمونه راه اندازی شده و در حالت خودکار اقدام به تحلیل و ثبت رخداد های احتمالی می نماید. توضیحات مربوط به مباحث فنی و ویژگی های این مرحله از آزمایش در [۴] و [۵] به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. در نتیجه اقدامات صورت گرفته روزانه تعداد قابل توجهی رخداد متحمل توسط آرایه به صورت خودکار شناسایی و در رایانه ذخیره می شوند. همچنین پرونده های حاوی اطلاعات مربوط به رخداد های به ثبت رسیده به صورت خودکار بر روی وب سایت آرایه رادیویی دانشگاه سمنان به نشانی [www.sura.semnan.ac.ir](http://www.sura.semnan.ac.ir) نیز بار گذاری می شوند تا هر یک از اعضای آزمایشگاه در هر زمان امکان دسترسی و استفاده از داده های به دست آمده را داشته باشند.

### تحلیل داده های آزمایش

داده های مورد بررسی در این پژوهش یک بازه زمانی ۱۸ روزه را شامل می شوند که بدون وقفه قابل توجه در طول مدت شبانه روز به صورت خودکار شناسایی و ثبت شده اند. در مجموع تعداد ۱۸۵۴۴ رویداد در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته اند. ذکر این نکته ضروری است که پارامتر های ابتدایی تعیین شده توسط کاربر، نقشی مهم در تعداد و مشخصات رخداد های ثبت شده خواهند داشتند. از جمله این مقادیر می توان به بازه زمانی تعیین شده برای بررسی همزمانی سیگنال های دریافتی توسط آنتن های مختلف اشاره نمود. اندازه این پنجره زمانی با توجه به هندسه آرایه مورد مطالعه تعیین می گردد. به طور مثال در صورتی که یک رخداد کاملاً مایل (افقی) به یکی از آنتن های آرایه برسد ، با توجه به سرعت تقریبی انتشار امواج الکترومغناطیسی در هوا و با در نظر حداکثر فاصله موجود ما بین آنتن های آرایه SURA-4 مدت زمانی تقریباً برابر با ۱۶۰ نانو ثانیه طول خواهد کشید تا آنتن دورتر نیز پالس رادیویی را دریافت نماید. البته این امر در صورت برابر بودن طول کابل های مورد استفاده برای انتقال داده های رادیویی از هر آنتن به

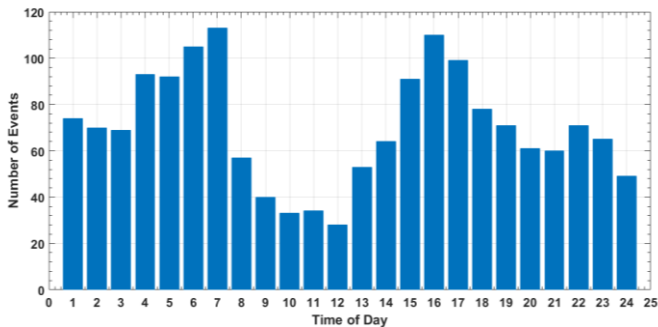
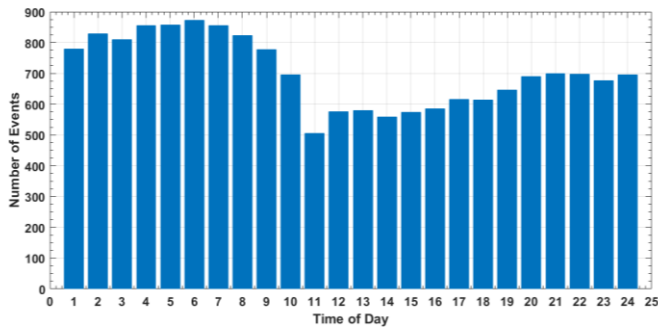
مرکز دریافت صحیح می باشد. در حال حاضر با تغییرات صورت گرفته و استقرار تجهیزات الکترونیکی آرایه SURA-4 بر روی پشت بام دانشکده فیزیک از طول کابل های کاملاً مساوی برای همه آنتن های رادیویی استفاده شده است.

پارامتر دوم ، میزان نویز زمینه در زمان ثبت داده های رادیویی است. برنامه توسعه داده شده SURA-4 در حال حاضر تنها در صورتی اقدام به ثبت یک رخداد می نماید که هر چهار آنتن به طور همزمان (در یک بازه تعریف شده) پالسی با دامنه بالاتر از میزان نویز زمینه دریافت نمایند. شکل ۱ تعداد رخداد های ثبت شده در طول روز برای دو بازه زمانی مختلف را نشان می دهد.

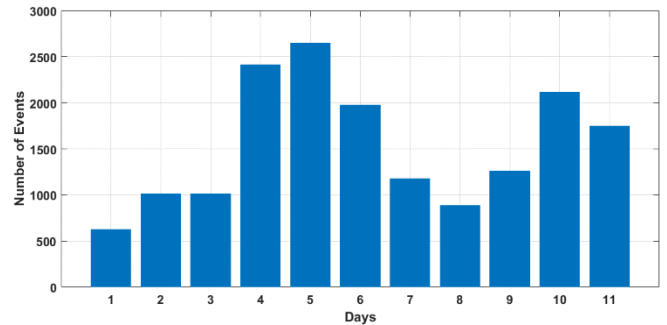
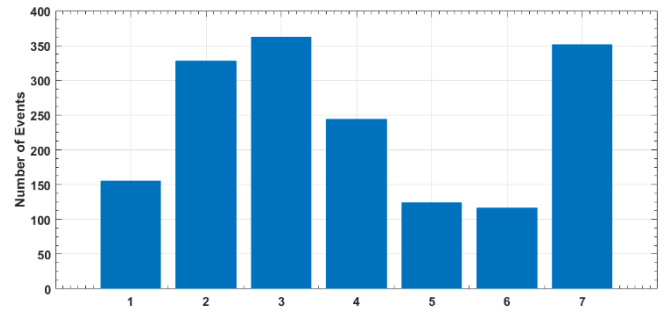
در بازه زمانی روز اول تا هشتم پنجره زمانی برابر با ۱۲۵ نانو ثانیه و حد آستانه نویز زمینه برابر با ۴۰۰ میکرو ولت در نظر گرفته شده است. به طور متوسط در این حالت روزانه حدود ۲۴۰ رخداد توسط سیستم به ثبت رسیده است. در مجموع تعداد ۱۶۸۰ رخداد در این حالت ذخیره شده است. در حالت دوم و در بازه زمانی روزهای هشتم تا هجدهم ، پنجره زمانی برابر با ۳۷۵ نانو ثانیه و حد آستانه نویز زمینه برابر با ۳۶۶ میکرو ولت در نظر گرفته شده است که به دلیل پایین تر بودن حد آستانه ی دامنه پالس دریافتی برای شناسایی رخداد های احتمالی و همچنین باز تر شدن پنجره زمانی ، تعداد رخداد های به ثبت رسیده به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است.

تعداد کل رخداد های ذخیره شده در این حالت برابر با ۱۶۸۶۴ عدد می باشد. از این تعداد ، ۹۰۷ رخداد ثبت شده به دلیل مشکلات فنی حاوی تمام نمونه های مورد انتظار نبوده و به همین دلیل از مجموع داده های حاصل حذف شده اند. نکته قابل توجه افت و خیز های مشاهده شده در تعداد رخداد های به ثبت رسیده در هر دو حالت می باشد که در شکل ۱ نیز مشاهده می شود. دلیل این موضوع نیاز به انجام تحلیل های بیشتر و افزایش تعداد داده های آزمایش پیش از انجام هرگونه جمع بندی نهایی دارد. همان گونه که در شکل ۲ ترسیم شده است، با وجود برابری نسبی رخداد های ثبت شده در طول شبانه روز ، تعداد رخداد هایی که در بازه زمانی نیمه شب تا ۷ صبح توسط سیستم به ثبت رسیده است اندکی بیشتر از تعداد رویداد های ذخیره شده در ساعت های دیگر شبانه روز می باشد.

انتظار می رود تا در جهت هایی خاص از زوایای سمتی نیز، تعداد بیشتری رخداد آشکارسازی گردد [۷].



شکل ۲: توزیع زمانی رخداد های ثبت شده در بازه زمانی ۱۸ روز؛ شکل بالا دوره اول و شکل پایین دوره دوم داده گیری را نشان می دهند.



شکل ۱: تعداد رخداد های ثبت شده در دو پنجره زمانی متفاوت که یک بازه زمانی ۱۸ روزه را تشکیل می دهند. شکل بالا دوره اول و شکل پایین دوره دوم را نشان می دهد.

یکی از مؤلفه های مهم در آشکارسازی پرتو های کیهانی ، بازسازی جهت ورود این پرتو ها به جو زمین می باشد. در حالتی که ذره اولیه دارای انرژی بسیار بالا باشد این پارامتر می توانند منجر به تعیین منابع احتمالی تولید و انتشار پرتو های کیهانی گردد. به همین جهت و با بهره گیری از یک برنامه اختصاصی برای آرایه رادیویی دانشگاه سمنان توسعه داده شده است و با توجه به اختلاف زمانی پالس های دریافت شده توسط آنتن های مختلف و همچنین با در نظر گرفتن هندسه آرایه ، جهت زوایای سرسویی و سمتی رخداد های ثبت رسیده نیز محاسبه شده است. شکل ۳ توزیع زوایای سرسویی رخداد های آشکارسازی شده را نشان می دهد. همان گونه که انتظار می رود و در آزمایش های دیگر نیز نشان داده شده است [۶]، در هر دو بازه مورد مطالعه ، تعداد رخداد های ثبت رسیده در یک بازه مشخص بیشتر از سایر زوایا می باشد. البته در بازه زمانی دوم شاهد دو بیشینه ی حداکثری در نمودار هستیم که دلیل این امر در دست بررسی می باشد. با توجه به مکانیزم تولید سیگنال های رادیویی ناشی از ورود یک پرتو کیهانی به جو زمین ،

میدان مغناطیسی زمین به عنوان اصلی ترین مؤلفه در تولید و انتشار سیگنال های رادیویی از ذرات ثانویه موجود در یک بهمن گسترده هوایی نقش مهمی در این امر دارد.

جهت بردار این مؤلفه در محل آزمایش SURA-4 به صورت  $\theta_b = 36^\circ$  و  $\varphi_b = 176^\circ$  می باشد. بنابراین با در نظر گرفتن جهت این مؤلفه انتظار می رود که رخداد هایی با منشاء ژئومغناطیسی به طبع این پارامتر در جهت هایی خاص قادر باشند تا به صورت موثرتری در سیستم خودکار SURA-4 آشکارسازی شوند. این مورد به خوبی در شکل ۴ مشاهده می شود.

در هر دو بازه مورد مطالعه ، تعداد رخداد های ثبت شده که با زوایای سمتی کوچک و بسیار بزرگ به سیستم رسیده اند بسیار بیشتر از رخداد هایی است که تقریباً به صورت موازی با بردار میدان مغناطیسی زمین از سمت جنوب انتشار یافته اند. این مورد نیز در تطابق با نتایجی است که بیشتر نیز در آزمایشگاه های دیگر مشاهده شده است و خود نشانگر ماهیت رخداد های ثبت شده و تاثیر پذیری

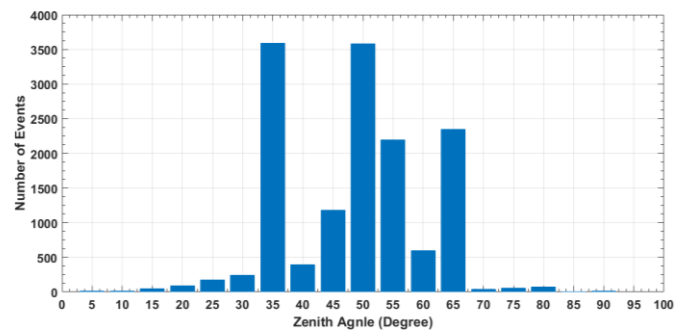
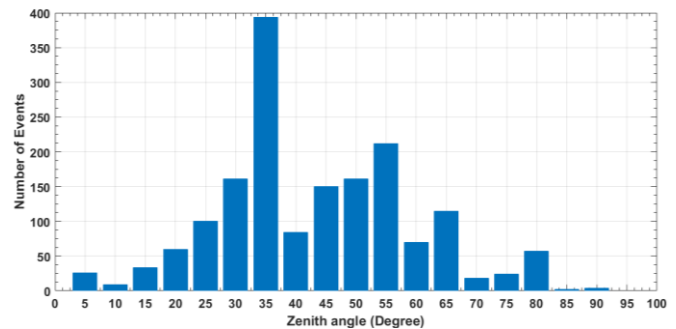
### نتیجه گیری

در این پژوهش نخستین دسته از رخداد هایی که به صورت کاملا خودکار توسط نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان ثبت شده بود مورد بررسی قرار گرفت. داده های حاصل، نتیجه فعالیت مستمر آرایه در یک بازه ۱۸ روزه می باشد که در نتیجه آن در مجموع تعداد ۱۸۵۴۴ رخداد در دو پنجره زمانی با شرایط اولیه متفاوت به ثبت رسیده است. در هر دو حالت نوساناتی در تعداد رخداد های ثبت شده در روز های مختلف مشاهده شده است که جمع بندی در خصوص دلایل آن نیازمند انجام بررسی های بیشتری است. به علاوه تعداد رخداد های ثبت شده در طول شب اندکی بیشتر از رویداد های به ثبت رسیده در طول روز می باشد. همچنین بررسی های انجام گرفته بر روی زوایای سمتی و سرسویی رویدادهای به ثبت رسیده نشان از منشاء ژئومغناطیسی رخداد های ثبت شده دارد و در تطابق با نتایج مورد انتظار است.

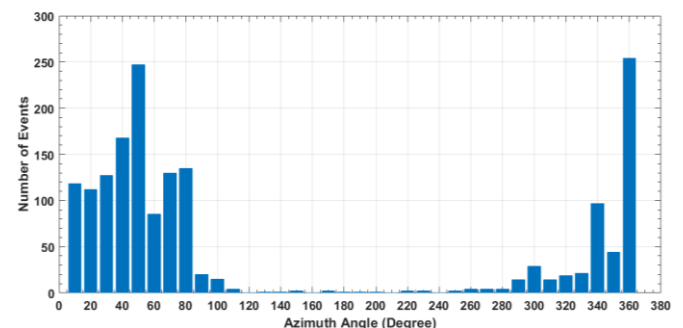
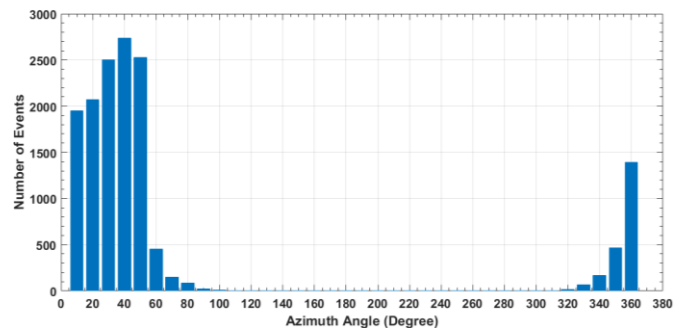
### مرجع ها

- [1] Falcke, H., Gorham, P., Protheroe R. J.: "Prospects for radio detection of ultra-high energy cosmic rays and neutrinos." *New Astronomy Reviews*. **48**, Issue 11-12, 1487 (2004)
- [2] Bezyazeev, P. A., et al.: "Reconstruction of cosmic ray air showers with Tunka-Rex data using template fitting of radio pulses." *Phys. Rev. D* **97**, 122004 (2018)
- [3] Rastegarzadeh, G., and M. Sabouhi. "SURA: Semnan University Radio Array." *Experimental Astronomy* 49.1 (2020): 21-41.
- [4] Rastegarzadeh, Gohar; Sabouhi, Mohammad; Mostafavi, Maryam; Meghdadi, Hamid. SURA 4 ; "First prototype of Semnan University Radio Array" In: *Proceedings of Iranian Annual Physics Conference*, Tabriz, Iran, 2019, **P1289**.
- [5] Sabouhi, Mohammad; Rastegarzadeh, Gohar; Meghdadi, Hamid; Mostafavi, Maryam. "An investigation of SURA-4 technical specifications" In: *Proceedings of Iranian Annual Physics Conference*, Tabriz, Iran, 2019, **P1316**.
- [6] Apel, W. D., et al. "Lateral distribution of the radio signal in extensive air showers measured with LOPES." *Astroparticle Physics* **32.6** (2010): 294-303.
- [7] Falcke, H., et al. "Detection and imaging of atmospheric radio flashes from cosmic ray air showers." *Nature* **435**.7040 (2005): 313.

سیگنال های رادیویی ناشی از یک بهمن گسترده هوایی به حضور و جهت گیری میدان مغناطیسی زمین است.



شکل ۳: توزیع زوایای سرسویی رخداد های ثبت شده در بازه زمانی ۱۸ روز؛ شکل بالا دوره اول و شکل پایین دوره زمانی دوم داده گیری را نشان می دهند.



شکل ۴: توزیع زوایای سمتی رخداد های ثبت شده در بازه زمانی ۱۸ روز؛ شکل بالا دوره اول و شکل پایین دوره زمانی دوم داده گیری را نشان می دهند.