

## بررسی مشخصات فنی آرایه رادیویی SURA-4

سبوحی، محمد<sup>۱</sup>؛ رستگارزاده، گوهر<sup>۱</sup>؛ مقدادی، حمید<sup>۲</sup>؛ مصطفوی، مریم<sup>۱</sup>

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

<sup>۲</sup>دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان

### چکیده

فاز نخست فعالیت آرایه رادیویی دانشگاه سمنان با هدف آشکار سازی رادیویی پرتو های کیهانی فعالیت خود را آغاز نموده است. این آرایه به عنوان اولین آزمایش از نوع خود در خاورمیانه، به صورت کاملاً خودکار اقدام به دریافت، تحلیل و ذخیره سازی داده هایی می پردازد که احتمال می رود ناشی از ورود یک ذره پرنرژی باردار به جو زمین و انتشار پالس های رادیویی در نتیجه فعل و انفعالات به وجود آمده باشد. ساخت یک آرایه رادیویی خودکار، نیازمند شناخت دقیق ویژگی های پالس های رادیویی تولید شده و استفاده از ابزار های مناسب برای این منظور است. در پژوهش پیش رو به بررسی ابعاد فنی نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان که به اختصار SURA-4 نامیده شده است، می پردازیم.

## An investigation of SURA-4 technical specifications

Sabouhi, Mohammad <sup>1</sup>; Rastegarzadeh, Gohar <sup>1</sup>; Meghdadi, Hamid <sup>2</sup>; Mostafavi, Maryam <sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Electrical and computer engineering Faculty, Semnan University, Semnan

### Abstract

The first phase of Seaman University Radio Array which aims to detect cosmic rays using radio techniques, has started its operation. As a first radio experiment in the Middle East, this array receives, analyzes and stores radio data that is likely to be emitted due to a high energy particle entering the earth atmosphere. Establishing such an experiment requires a deep understanding of emitted radio pulses while using proper instrument for this purpose. In this study, we investigate the technical specifications of SURA-4 sub-array.

PACS No. 90.95

### مقدمه

پرتو های کیهانی است. پس از اجرای موفقیت آمیز این روش در ابعاد کوچک [۱-۲]، آزمایشگاه های بزرگ نیز اقدام به استقرار تجهیزات مورد نیاز رادیویی به منظور استفاده از قابلیت های این رویکرد نوین نموده اند [۳-۴]. هرچند از نقطه نظر تئوری امکان فعالیت یک آرایه رادیویی به صورت کاملاً خودکار و بدون نیاز به سایر روش های آشکارسازی وجود دارد اما در واقعیت استقرار چنین آرایه ای، پیچیدگی های فنی فراوانی را به همراه دارد. به همین دلیل ساخت یک آرایه رادیویی خودکار همچنان از چالش های

در حال حاضر از روش های مختلفی برای آشکار سازی پرتو های کیهانی پرنرژی که وارد جو زمین شده اند، استفاده می شود. یکی از این روش ها که به دلیل دارا بودن ویژگی هایی همچون هزینه تمام شده کم تر نسبت به سایر رویکردها، امکان فعالیت در شرایط جوی مختلف و همچنین سازگاری با سایر روش های آشکارسازی، در سال های گذشته مورد توجه بسیاری از آزمایشگاه های فعال در این حوزه قرار گرفته، آشکارسازی رادیویی

ویژگی اصلی آنتن های دایپل، مقرون به صرفه بودن آن ها است. نقطه ضعف این آنتن ها اما گیرندگی پایین تر آن ها نسبت به آنتن های لوگ پرئودیک و همچنین طراحی مشکل آن ها برای حساس بودن به یک بازه فرکانسی بخصوص می باشد. سازه طراحی شده برای آنتن دایپل در مجموعه SURA از جنس پی وی سی می باشد که علاوه بر وزن کم و مقاومت بالا در برابر شرایط جوی، امکان جابه جایی آنتن را نیز به راحتی فراهم می آورد. در حال حاضر یک آنتن دایپل در مجموعه SURA استقرار یافته و داده های دریافتی را به مرکز کنترل داده ارسال می نماید. علاوه بر این نوع از آنتن ها، تعداد چهار عدد آنتن لوگ پرئودیک نیز به صورت اختصاصی برای آرایه SURA طراحی و ساخته شده است. آنتن های لوگ پرئودیک به دلیل حساسیت بالاتر نسبت به پالس های ارسال شده از طرف آسمان و همچنین گیرندگی بسیار بالاتر، از بهترین نوع آنتن ها برای آشکارسازی پرتو های کیهانی به شمار می روند. مشکل اساسی آن ها اما هزینه تمام شده بسیار بالاتر نسبت به آنتن های دایپل است. آنتن های لوگ پرئودیک ساخته شده برای آرایه SURA از جنس آلومینیوم ضد زنگ می باشد که ضمن توجه ویژه به شرایط جوی محل آزمایش به خصوص دمای هوا و میزان باد موجود در محیط آزمایش ساخته شده اند. به دلیل طراحی ویژه این آنتن ها، میتوان آن ها را ظرف ۲۰ دقیقه در هر محل دلخواه پیکر بندی نمود.

مطالعات پیشین و شبیه سازی های رایانه ای نشان می دهند که سیگنال های رادیویی متعلق به پرتو های کیهانی در یک جهت خاص (شرقی-غربی) با شدت بسیار بیشتری ارسال می شوند[۵]. به همین دلیل و برای کاهش هزینه های تمام شده، آنتن های مجموعه SURA دارای پلاریزه خطی هستند به این معنا که تنها به سیگنال های ساطع شده در یک جهت خاص حساسیت نشان می دهند.

### سخت افزار

داده های رادیویی دریافتی شده توسط آنتن های مجموعه در حال حاضر توسط کابل های کوکسیال به مرکز تحلیل داده منتقل می شوند. طبیعتاً در حالتی که تعداد زیادی پایگاه رادیویی در مکان های دوردست در حال فعالیت باشند این ارتباط باید به صورت

اساسی این حوزه به شمار می رود. آرایه رادیویی دانشگاه سمنان در حال حاضر به صورت کاملاً خودکار سعی در ثبت رخداد های رادیویی مرتبط با پرتو های کیهانی دارد. در این مقاله به بررسی ابعاد فنی تجهیزات مورد استفاده و رویکرد های اتخاذ شده در این مرحله از آزمایش می پردازیم.

### محل انجام آزمایش

به دلیل ماهیت رویکرد آشکارسازی رادیویی پرتو های کیهانی، محل انجام آزمایش و میزان آلودگی محیطی از نقطه نظر انتشار های رادیویی در بازه فرکانسی مورد مطالعه از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین دلیل اغلب آزمایشگاه های رادیویی در محل هایی دور از شهر های صنعتی استقرار می یابند. شهر سمنان و بطور مشخص دانشگاه سمنان از این جهت دارای ویژگی های منحصر به فردی می باشد. وجود زمین های وسیع در اطراف دانشگاه سمنان زمینه را برای فعالیت یک آرایه رادیویی فراهم نموده است. از همین رو علاوه بر پشت بام دانشکده فیزیک که در حال حاضر محل استقرار آنتن های رادیویی است، مکانی در شمال دانشگاه سمنان نیز به عنوان محل احتمالی آرایه رادیویی مورد بررسی های اولیه قرار گرفته و آزمایش های ابتدایی نیز در آن مکان صورت پذیرفته است. انتخاب پشت بام دانشکده فیزیک در گام نخست به دلیل فراهم بودن امکان دسترسی آسان به آنتن ها و همچنین تجهیزات رادیویی به منظور بررسی و رفع مشکلات احتمالی پیش از استقرار آرایه در مکان نهایی آن بوده است.

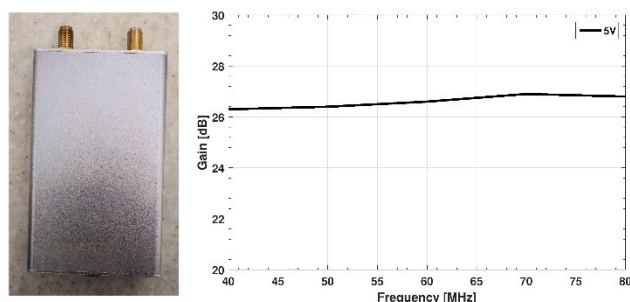
### آنتن های رادیویی

طبیعتاً آنتن های رادیویی نقش مهمی در دریافت سیگنال های رادیویی دارند. با این وجود اما انتخاب نوع صحیح آنتن ها با توجه به پارامتر های مهمی همچون فرکانس کاری آزمایش، اهمیت فراوانی دارد. از همین رو و پس از بررسی انواع آنتن های مورد استفاده در آزمایشگاه های مختلف، از دو نوع آنتن دایپل<sup>۱</sup> و لوگ پرئودیک<sup>۲</sup> برای این آزمایش بهره برده ایم.

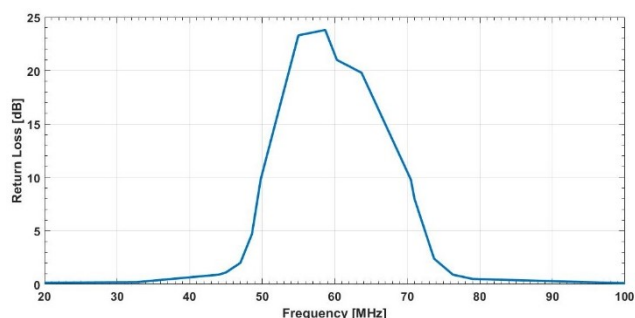
<sup>1</sup> Dipole

<sup>2</sup> Log Periodic Dipole Array (LPDA)

سیگنال لازم است تا نرخ نمونه برداری حداقل دو برابر بازه فرکانسی مورد مطالعه باشد. به همین دلیل و از آنجایی که بازه مورد مطالعه در آزمایش SURA برابر ۴۰ مگاهرتز می باشد از یک مبدل با نرخ نمونه برداری ۱۶۰ مگا سمپل در ثانیه استفاده شده که آن را هم تراز با نمونه های مورد استفاده در آزمایشگاه های جهانی قرار می دهد.



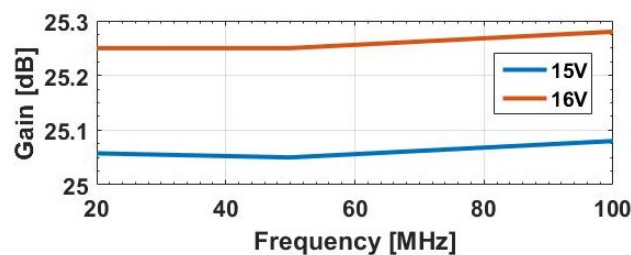
شکل ۲: تقویت کننده طراحی شده برای آرایه SURA و بازدهی آن از آنجایی که سیگنال رادیویی مربوط به یک پرتو کیهانی طول عمری نزدیک به ۲۰ تا ۱۰۰ نانو ثانیه دارد لازم است تا داده های رادیویی در بازه های هر چه کوتاه تر گرفته شوند تا شکل بهتری از سیگنال دریافت شده توسط واحد پردازش داده ثبت گردد.



شکل ۳: میزان موج بازگشتی از فیلتر میان گذر آرایه SURA-4

مسئله بعدی تغییرات در دامنه پالس های رادیویی دریافت شده توسط آنتن های آرایه است. مطالعات نشان می دهد که دامنه پالس های رادیویی علاوه بر دارا بودن مقادیر بسیار کم در محدوده میکرو ولت، تغییرات بسیار اندکی نیز از نظر مقادیر مربوط به دامنه پالس رادیویی دارند [۵]. به همین توان تفکیک واحد مبدل آنالوگ به دیجیتال اهمیت زیادی دارد. مبدل آنالوگ به دیجیتال مورد استفاده در آزمایشگاه SURA توان تفکیک ۱۴ بیتی بهره می برد که این امر منجر به ثبت داده هایی با جزئیات دقیق می گردد. به دلیل آنکه نمونه اولیه آرایه SURA از ۴ آنتن اصلی تشکیل شده است، از واحدی

بی سیم برقرار گردد که خود از چالش های پیش رو برای گروه SURA به شمار می رود. با این حال و در آرایه فعلی برای حفظ داده های رادیویی در مسیر انتقال می بایست از کابل هایی که توانایی انتقال داده های رادیویی تا فاصله ای حدود ۹۰ متر را دارا باشند استفاده می شد. به همین دلیل و پس از بررسی های صورت گرفته، از کابل RG-213 برای آرایه SURA-4 استفاده نمودیم. همچنین برای تقویت سیگنال های رادیویی از یک تقویت کننده که توانایی تقویت سیگنال های رادیویی تا اندازه ۲۵ دسی بل را دارد بهره گرفته ایم (شکل ۱). ضمناً علاوه بر این واحد که به صورت تجاری قابل تهیه است، یک تقویت کننده جداگانه نیز به صورت اختصاصی برای آرایه SURA طراحی و ساخته شده است. بر خلاف نوع اول که نیاز به ۱۶ ولت برای حصول حداکثر بازده تعریف شده دارد، این مدل با تنها ۵ ولت می تواند تا ۲۶ دسی بل تقویت کنندگی داشته باشد. تصویر نمونه اولیه این واحد در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۱: میزان تقویت کنندگی سیگنال های خارج شده از آنتن های SURA علاوه بر تقویت کننده سیگنال های رادیویی از یک فیلتر میان گذر که بازه ۴۴ تا ۷۹ مگاهرتز را پوشش می دهد نیز استفاده شده است. میزان موج بازگشتی<sup>۱</sup> این واحد که در شکل ۳ نشان داده شده، به گونه ای است که تقریباً از ورود سیگنال های خارج از این محدوده تا حد زیادی جلوگیری می نماید.

به دلیل ویژگی های ذاتی سیگنال های رادیویی پرتو های کیهانی از جمله دامنه کوتاه، طول عمر کم و تغییرات ناچیز دامنه، آشکارسازی آن ها نیازمند شناخت دقیق پالس های ساطع شده و استفاده از ابزار های مناسب دارد. به همین دلیل از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال با ویژگی های مناسب در واحد پردازش داده آرایه SURA استفاده شده است. مطابق با نظریه نیگوتیست<sup>۲</sup> برای بازسازی صحیح یک

<sup>1</sup> Return Loss

<sup>2</sup> Nyquist Theorem

انتظار می رود که سیگنال رادیویی ناشی از یک پرتو کیهانی دارای شکلی به خصوص باشند [۷]. همین امر امکان جداسازی این سیگنال از سایر داده های ثبت شده را افزایش می دهد. همچنین لازم است تا در صورت مشاهده چنین سیگنالی از داده های مربوط به یک آنتن رادیویی که به عنوان آنتن مرکزی در نظر گرفته شده است، داده های مربوط به سایر آنتن ها نیز برای آنالیزهای بعدی در رایانه ذخیره گردد. به علاوه پس از آنکه یک رخداد احتمالی توسط آرایه رادیویی به ثبت برسد، سیگنالی از مجموعه رادیویی ارسال می گردد که می تواند به عنوان پالس آغازگر ثبت داده توسط سایر روش های آشکارسازی، در فازهای بعدی آرایه مورد استفاده قرار گیرد.

### جمع بندی

آرایه رادیویی دانشگاه سمنان که به صورت کاملاً خودکار و مستقل از سایر روش های آشکارسازی اقدام به ثبت، تحلیل و ذخیره سازی داده های رادیویی می نماید، کار خود را در دانشگاه سمنان آغاز نموده است. برای این منظور دو نوع آنتن رادیویی به صورت مشخص برای آرایه SURA طراحی و ساخته شده است. علاوه بر آن یک تقویت کننده سیگنال نیز برای این آرایه طراحی شده که توانایی تقویت داده های رادیویی تا ۲۶ دسی بل را دارا می باشد. به منظور آشکارسازی داده های رادیویی از یک آرایه دریاچه ای برنامه پذیر میدانی بهره برده ایم. به علاوه یک برنامه اختصاصی به منظور جدا سازی داده های مفید رادیویی از انتشارهای ناخواسته، توسط گروه SURA توسعه داده شده است که به صورت کاملاً برخط نسبت به تحلیل داده های خام دریافتی و ثبت داده هایی که احتمال می رود ناشی از ورود یک ذره کیهانی باشند، اقدام می کند.

### مرجع ها

- [1] Apel, W. D., et al. *Physical Review D* **90.6** (2014): 062001.
- [2] Machado, D. Torres. (ICRC), Rio de Janeiro, Brazil. 2013.
- [3] Fuchs, Benjamin, and Pierre Auger Collaboration. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*: 692 (2012): 93-97.
- [4] Schellart, P., et al. *Astronomy & Astrophysics* **560** (2013): A98.
- [5] M.Sabouhi, G.Rastegarzadeh. In: Proceedings of Iranian Annual Physics Conference, Yazd, Iran, 2017, P314.
- [6] M.Sabouhi, G.Rastegarzadeh. In: Proceedings of Iranian Annual Physics Conference, Qazvin, Iran, 2018, P172.
- [7] Ruehle, Christoph, and Pierre Auger Collaboration. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*: **662** (2012): S146-S149.

که توانایی در یافت همزمان داده های هر ۴ آنتن را داشته باشد استفاده نموده ایم. مهم ترین و شاید سخت ترین بخش تحلیل داده های رادیویی اما، اعمال شرط های مورد نظر بر روی داده های ورودی به نحوی است که تنها سیگنال های مفیدی که احتمال می رود ناشی از ورود یک ذره پرتو کیهانی باشند در رایانه ذخیره شده و از ورود سیگنال های ناخواسته تا حد امکان جلوگیری شود. یکی از روش های نوین، بهره مندی از یک آرایه دریاچه ای برنامه پذیر میدانی<sup>۱</sup> برای تحلیل برخط داده های دریافت شده از آنتن های رادیویی می باشد. در آرایه SURA از یک آرایه دریاچه ای برنامه پذیر میدانی استفاده نموده ایم که به دلیل دارا بودن ۳۲ گیگا بایت حافظه موقت توانایی تحلیل ۲ گیگا بایت داده حین دریافت داده های جدید را دارد.

با بهره گیری قابلیت های دو واحد ذکر شده، یک برنامه اختصاصی برای آرایه SURA توسط تیم پرتوهای کیهانی دانشگاه سمنان توسعه داده شده است که به صورت کاملاً برخط نسبت به اعمال پیش شرط های تعیین شده بر روی داده های ورودی اقدام نموده و تنها در صورت دریافت داده های مفید نسبت به ثبت آن ها اقدام می نماید. فرآیند جداسازی سیگنال های ناخواسته و ثبت داده های مورد نظر را می توان به صورت زیر تشریح نمود:

در گام نخست داده های آنالوگ با استفاده از تبدیل فوریه به حوزه فرکانس برده می شوند. پس از جداسازی داده های ثبت شده هر آنتن، یک فیلتر بالا گذر، پالس های زیر ۴۰ مگاهرتز که بخش عمده ای از طیف مربوط به داده های ناخواسته را شامل می شوند را تا حد زیادی حذف می نماید. در مرحله بعد و برای حذف انتشار گره های تک فرکانسی که در محیط آزمایش با آن ها روبرو شده ایم [۶] از فیلترهای تله ای<sup>۲</sup> با دقت بالا که به صورت دیجیتال طراحی شده اند، بهره برده ایم. در گام بعد سیگنال های حوزه فرکانس تحت تبدیل عکس فوریه قرار گرفته و مجدد به حوزه زمان باز می گردند تا بتوان ضمن بررسی شکل پالس های رادیویی نسبت به ثبت داده های مفید اقدام نمود. در این مرحله شکل پالس رادیویی نیز مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به شبیه سازی های رادیویی

<sup>1</sup> Field Programmable Gate Array (FPGA)

<sup>2</sup> Notch Filter