

بررسی مشخصه های سیگنال رادیویی برای آرایه فرضی رادیویی سمنان

سبوحی، محمد^۱؛ رستگارزاده، گوهر^۱

^۱دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده

در این مطالعه، به بررسی ویژگی های سیگنال های رادیویی در محیطی خواهیم پرداخت که انتظار می رود آرایه رادیویی سمنان در آینده ای نزدیک در آن محل راه اندازی گردد. بدین منظور شبیه سازی هایی به وسیله کد CORSIKA و CoREAS برای پرتو های کیهانی عمود که با انرژی های مختلف شامل 10^{16} تا 5×10^{17} eV وارد جو شده اند صورت گرفته است. در اولین گام به بررسی سیگنال های خام رادیویی پرداخته و نشان می دهیم که به دلیل افزایش شدت میدان مغناطیسی در محل آرایه سمنان نسبت به محل رصدخانه Pierre Auger، سیگنال های قوی تری توسط آنتن های رادیویی دریافت می شوند. این افزایش نه تنها در سیگنال های خام بلکه در سیگنال هایی که به صورت دیجیتالی فیلتر شده اند نیز مشاهده می گردد. به علاوه رابطه میان بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده با انرژی اولیه پرتو کیهانی در مرکز بهمن مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور محاسبه بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده در بازه ۳۲-۶۴ مگاهرتز از یک کد اختصاصی که برای مطالعات رادیویی در دانشگاه سمنان توسعه داده شده است بهره گرفته ایم. در نهایت نیز الگو های مربوط به مؤلفه های گوناگون سیگنال رادیویی در محل آرایه فرضی سمنان محاسبه و به تصویر کشیده شده است.

Investigation on radio signal properties for the expected Semnan Radio Array

Sabouhi, Mohammad¹; Rastegarzadeh, Gohar¹

¹ Department of Physics, Semnan University, Semnan

Abstract

In this study, we investigate cosmic ray air showers radio signal properties propagating in a location that we expect to have Semnan Radio Array in near future. The simulations were performed by CORSIKA and CoREAS code for vertical air showers with different initial energy from 10^{16} to 5.10^{17} eV. First, we investigate properties of the raw unfiltered radio pulses and compare the results to radio signals in the location of the Pierre Auger Observatory experiment. It is found that because of higher magnetic field values, we observe much stronger radio pulses in the location of Semnan Radio Array. This increase happens not only in raw unfiltered radio pulses, but also in digitally filtered amplitudes of radio signals. The relation between the peak radio amplitudes at shower center and the initial energy is also investigated. We calculate the peak radio amplitude values in the 32-64 MHz frequency range using a specifically designed computer code. Ground footprints of radio signals for a 0.1 EeV proton air shower is also calculated.

PACS No. 90.95

مقدمه

مکانیسم هایی که منجر به تولید و انتشار این پدیده می گردند همواره از موضوعات مورد علاقه دانشمندان به شمار می رود [۳]، [۴]. برای پاسخ به این سوالات، رویکردهای گوناگونی به منظور تعیین

بررسی و آشکارسازی بهمن های گسترده هوایی ناشی از پرتو های کیهانی دارای پیشینه ای طولانی است [۱]، [۲]. منابع و

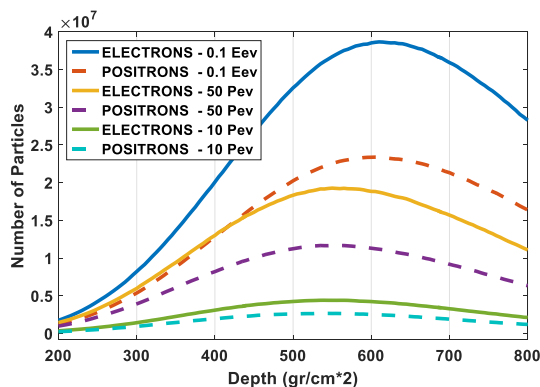
CoREAS برای دانشگاه سمنان) استفاده می کنیم. این برنامه با بهره گیری از داده های خروجی CoREAS و انجام محاسبات ریاضی لازم، مقادیر مربوط به مؤلفه های مختلف سیگنال رادیویی را محاسبه می نماید.

جدول ۱: مقادیر به کار گرفته شده برای میدان مغناطیسی زمین

مکان	PAO	SRA
شدت میدان مغناطیسی (میکرو تسلا)	۲۴,۲۸	۴۷,۵۸
زاویه میل میدان مغناطیسی (درجه)	-۳۵,۷۳	۵۳,۸۰

حوزه زمان

در شکل ۱ تاثیر انرژی ذره اولیه پرتو کیهانی بر روی ذرات الکترون و پوزیترون تولید شده در بهمن هوایی که مسئول ایجاد سیگنال های رادیویی هستند را مشاهده می کنیم.



شکل ۱: تعداد الکترون و پوزیترون های ثانویه بر حسب عمق بهمن در محل آرایه فرضی سمنان برای سه ذره اولیه پروتون که به صورت عمود وارد جو شده اند.

همان طور که در شکل ۲ مشخص است، افزایش مقدار پارامتر میدان مغناطیسی در محل آرایه سمنان منجر به دریافت سیگنال های رادیویی به مراتب قوی تر نسبت به محل PAO می گردد. به طور مشخص سیگنال های دریافتی در فاصله ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ متری از مرکز بهمن از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد قوی تر شده اند.

هرچند بر اساس مطالعات پیشین [۱۶]، رابطه ای خطی میان مقدار میدان مغناطیسی زمین و شدت سیگنال های دریافتی وجود دارد،

پارامتر های کلیدی بهمن هوایی و در نتیجه آن ذره اولیه پرتو کیهانی مورد استفاده قرار گرفته است [۵] و [۶]. شبیه سازی های رایانه ای در کنار آزمایش های تجربی نقشی مهم در این زمینه ایفا کرده اند. در سال های اخیر، مزیت های روش آشکارسازی رادیویی پرتو های کیهانی نسبت به رویکردهای فعلی به خوبی تبیین شده و همین امر منجر به تحولی اساسی در این حوزه گردیده است [۷-۱۰]. مکانیسم های مختلفی در تولید و انتشار پرتو های کیهانی نقش آفرینی می کنند که از میان آن ها میدان مغناطیسی زمین بیشترین نقش را دارد [۱۱].

روش انجام فرآیند

به منظور بررسی ویژگی های سیگنال های رادیویی، مجموعه ای از شبیه سازی های رایانه ای توسط کد CORSIKA [۱۲] و CoREAS [۱۳] انجام گرفته است. در این مطالعه از مدل های اندرکنشی QGSJETII-4 [۱۴] و Gheisha 2002d برای انرژی های بالا و پایین بهره برده ایم. از آنجایی که قصد مقایسه ویژگی های سیگنال رادیویی در دو مکان متفاوت را داریم، پارامترهای ورودی را به نحوی تغییر داده ایم که متناسب با محل آرایه PAO^۱ و SRA^۲ باشد (جدول ۱). میزان ارتفاع از سطح دریا نیز در تمامی شبیه سازی ها برابر با مقدار ۱۴۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

به منظور تحلیل دقیق و کامل سیگنالهای رادیویی از آرایه ای فرضی شامل ۱۹۴ آنتن در این مطالعه استفاده کرده ایم. این آرایه تا فاصله ۱۰۰ متری از مرکز بهمن را مورد پوشش قرار می دهد چرا که برای فواصل دورتر، با توجه به انرژی مورد مطالعه، امکان بهره برداری از سیگنال های رادیویی به دلیل تداخل با نویز محیط به شدت کاهش می یابد [۱۵].

به منظور محاسبه "بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده"^۳ در بازه فرکانسی ۳۲-۶۴ مگاهرتز که محدوده فعالیت آرایه فرضی سمنان نیز خواهد بود، از برنامه ای اختصاصی به نام CAPS^۴ (برنامه آنالیز کد

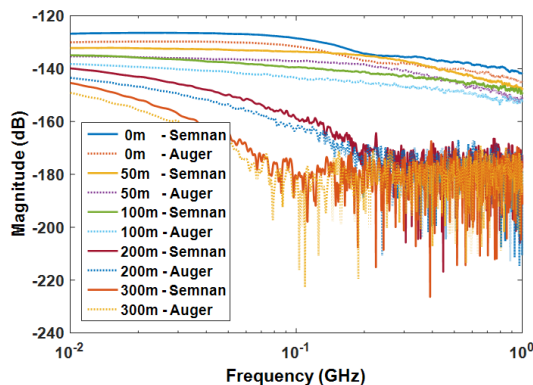
1 Pierre Auger Observatory

2 Semnan Radio Array

3 Peak Radio Amplitude (PRA)

4 CoREAS Analyze Program

نه تنها در فواصل دور از مرکز بهمن بلکه در فرکانس های بالا نیز هم فاز بودن سیگنال های رادیویی دچار اختلال می گردد و همین



شکل ۳: طیف فرکانسی دو پرتو کیهانی عمود با انرژی $10^{17} eV$ که در دو میدان مغناطیسی متفاوت منتشر شده اند.

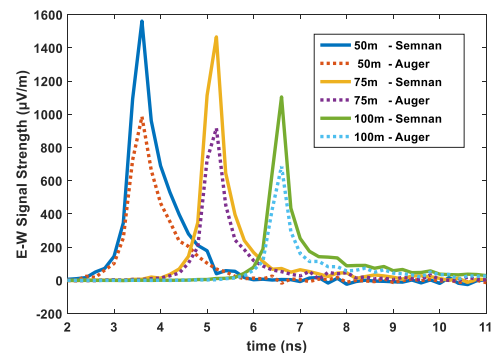
امر یکی از دلایل فعالیت آرایه رادیویی سمنان در فرکانس های زیر ۱۰۰ مگاهرتز می باشد.

یکی از مهم ترین پارامتر های یک پرتو کیهانی انرژی ذره اولیه آن می باشد. از آنجایی که تعیین محل مرکز بهمن هوایی به روش های مختلف از جمله روش رادیویی امکان پذیر است ، بررسی رابطه میان بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده در محل مرکز بهمن با انرژی اولیه می تواند منجر به تعیین این پارامتر مهم گردد. با استفاده از CAPS و همان طور که در شکل ۴ دیده می شود ، رابطه ای میان بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده و انرژی اولیه پرتو کیهانی مشاهده می شود و همین امر می تواند منجر به تخمین انرژی ذره اولیه بر اساس شدت سیگنال رادیویی دریافت شده گردد.

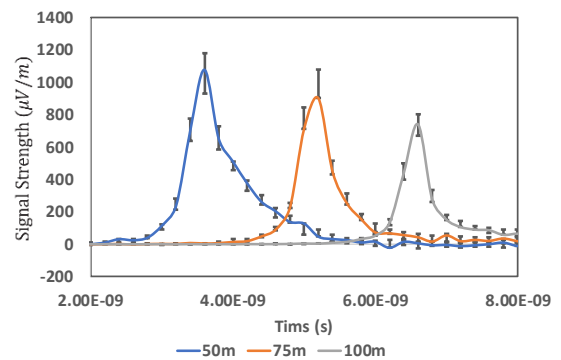
الگو های رادیویی

در نتیجه ی محاسبه مقادیر مربوط به بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده در یک سطح ، امکان ترسیم ردپای رادیویی بهمن های هوایی نیز وجود دارد. شکل ۵ نمونه ای از این الگو های رادیویی زمینی را برای یک بهمن عمود با انرژی $10^{17} eV$ و ذره اولیه پروتون در میدان مغناطیسی سمنان نشان می دهد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که شکل کلی الگو های به دست آمده در میدان مغناطیسی سمنان برای یک پرتو کیهانی عمود بسیار به الگو های به دست آمده در

شکل ۳ نشان از عدم قطعیتی به میزان ۲۱,۲٪ در مقادیر به ثبت رسیده توسط آنتن های رادیویی در محل PAO دارد.



شکل ۲: سیگنال های خام مؤلفه شرقی-غربی (E_y) دو پرتو کیهانی عمود با انرژی اولیه $10^{17} eV$ که در دو محل متفاوت منتشر شده اند.



شکل ۳: عدم قطعیت به دست آمده برای شدت سیگنال های ناشی از بهمن های هوایی در یک میدان مغناطیسی مشخص (PAO). این نتایج نشان می دهد که به دلیل وجود نوسانات آماری و مکانیسم های مختلف تولید و انتشار سیگنال های رادیویی، ممکن است حتی با افزایش ۱۰۰ درصدی میدان مغناطیسی ، شدت سیگنال های رادیویی دقیقاً دو برابر نشود.

حوزه فرکانس

هرچند سیگنال های خام رادیویی حاوی اطلاعات مهمی در ارتباط با بهمن هوایی هستند ، بهتر است تا مطابق با آزمایش های عملی به بررسی این سیگنال ها در یک بازه فرکانسی خاص پرداخته شود. به همین منظور، یک فیلتر دیجیتالی میان-گذر را بر روی سیگنال های خام رادیویی اعمال کرده و بوسیله برنامه CAPS مقادیر مربوط به مؤلفه های مختلف رادیویی را برای هر آنتن محاسبه نموده ایم. شکل ۴ طیف فرکانسی بدست آمده از سیگنال های خام رادیویی را در محل SRA و PAO نشان می دهد. به خوبی مشخص است که

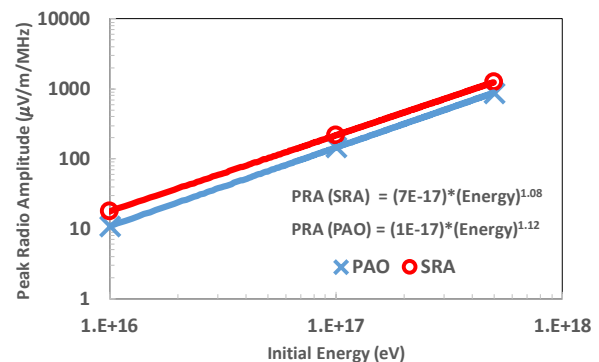
نتایج حاصل به خوبی تاثیر میدان مغناطیسی بر روی سیگنال های خام و فیلتر شده رادیویی را نشان می دهند. بر این اساس و به دلیل افزایش مقدار پارامتر میدان مغناطیسی در محل SRA نسبت به PAO، این آرایه امکان آشکارسازی طیف وسیع تری از پرتو های کیهانی را خواهد داشت.

بر اساس مطالعات انجام گرفته، عدم قطعیت تاثیر میدان مغناطیسی بر روی سیگنال های رادیویی برابر با ۲۱،۲ درصد به دست آمد. به علاوه رابطه میان مقادیر مربوط به بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده با انرژی اولیه پرتو کیهانی که می تواند منجر به تعیین یکی از مهم ترین پارامتر های پرتو کیهانی گردد نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این محاسبات از یک کد اختصاصی که برای انجام مطالعات رادیویی در دانشگاه سمنان توسعه داده شده است، بهره برده ایم. به علاوه با استفاده از ویژگی های این کد الگو های رادیویی مربوط به مؤلفه های مختلف سیگنال های رادیویی در محل آرایه فرضی سمنان نیز ترسیم شده اند که شباهت زیادی به الگو های به دست آمده در محل آرایه های رادیویی دیگر با کد های متفاوت دارند و این امر نشان دهنده عملکرد صحیح کد CAPS در محاسبه مقادیر بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده دارد.

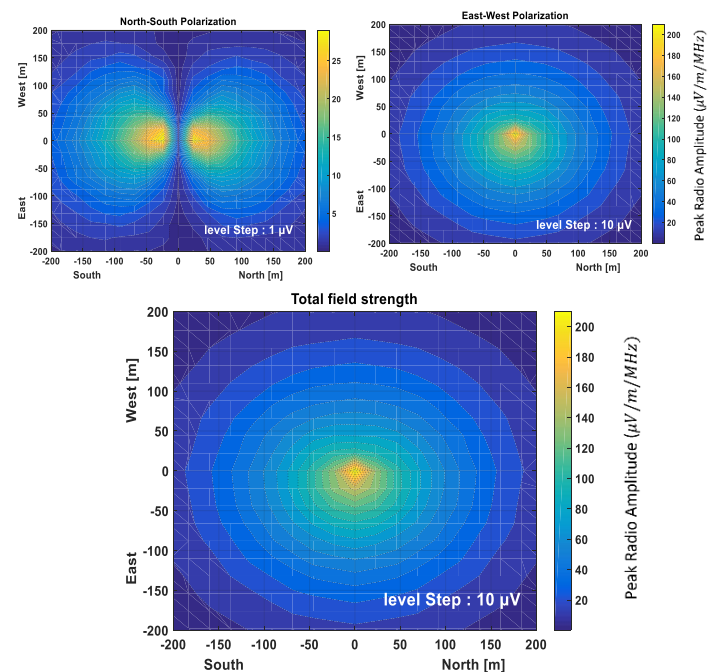
مرجع ها

- [1] J.V. Jelley, J.H. Fruin, N.A. Porter et al., *Nature* **205**, 327 (1965).
- [2] H.R. Allan, *Prog. Elem. Part. Cos. Ray Phys.* **10**, 171 (1971).
- [3] Pierre Sokolsky, *Introduction to Ultra high Energy Cosmic Ray Physics*, (Addison-Wesley, 1989).
- [4] T. Huege, *Nucl.Instr.andMeth.A*, **604**, S57 (2009)
- [5] A. Aab et al. (Pierre Auger Collaboration), *Nucl.Instr.andMeth.A*, **798**, 172 (2015).
- [6] H. Kawai et al. (Telescope Array Collaboration), *Nucl. Phys. B, Proc. Suppl.* **175**, 221 (2008).
- [7] H. Falcke, W. D. Apel, A. F. Badea et al., *Nature* **435**, 313 (2005).
- [8] T. Huege, W. D. Apel, T. Asch et al., *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)*, **165**, 341 (2007).
- [9] D. Ardouin, A. Bell'etoile, D. Charrier et al., *Nucl. Instr. Meth. A* **555**, 148 (2005).
- [10] A. van den Berg et al., in: *Proceedings of 30th International Cosmic Ray Conference (ICRC2007)*, Merida, Mexico, astro-ph/0708.1709.
- [11] Schröder, Frank. PhD, Karlsruhe Institute of Technology (KIT) 2010.
- [12] D. Heck, J. Knapp, J.N. Capdevielle, G. Schatz, T. Thouw, FZKA Report 6019 (1998).
- [13] T. Huege, M. Ludwig, C.W. James; *AIP Conf. Proc.* 1535, 128 (2013).
- [14] S. Ostapchenko, *Phys. Rev. D* **83**, 014018 (2011).
- [15] M.Sabouhi, G.Rastegarzadeh. In: *Proceedings of the 34th International Cosmic Ray Conference (ICRC2015)*, The Hague, The Netherlands, POS 474
- [16] T.Huege, *Physics Reports* **620**, 1 (2016).

میدان های مغناطیسی دیگر که با استفاده از کد های اختصاصی مختلف به دست آمده اند شباهت دارد.



شکل ۴: رابطه میان انرژی اولیه پرتو کیهانی عمود با بیشینه دامنه رادیویی فیلتر شده در مرکز بهمن برای دو میدان مغناطیسی متفاوت.



شکل ۵: الگوهای به دست آمده برای یک پرتو کیهانی عمود با انرژی اولیه 10^{17} eV برای مؤلفه های شمالی-جنوبی (E_y)، شرقی-غربی (E_x) و مؤلفه کل بهمن. یک عدم تقارن جزئی در مؤلفه شرقی-غربی به دلیل تاثیر مکانیسم های مختلف در تولید و انتشار رادیویی به خوبی مشهود است.

جمع بندی

در این مطالعه و براساس شبیه سازی های صورت گرفته با استفاده از کد های CORSIKA و CoREAS به تحلیل مشخصه های سیگنال های رادیویی در محل آرایه فرضی رادیویی سمنان پرداختیم.