

پیش بینی زلزله توسط سیستم ترکیبی لیدار جذبی تفاضلی و آشکارساز فوزویج با اندازه گیری تغییرات غلظت گاز رادون از راه دور

پرویز پروین^۱، غلامرضا داودآبادی^۳

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه امیرکبیر (e-mail: parvin@aut.ac.ir)

۲- مرکز تحقیقات لیزر، سازمان انرژی اتمی ایران

۳- دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرج

چکیده

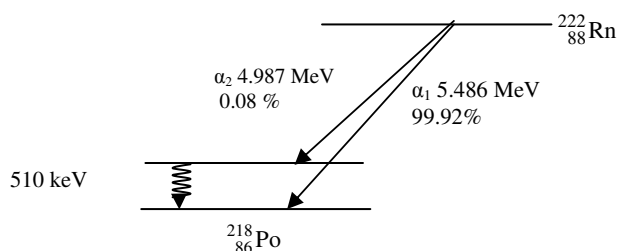
در این مقاله روشی جدید برای پیش گویی زلزله پیشنهاد شده است که براساس سیستم کوپل شده لیدار جذبی تفاضلی (DIAL) و آشکار ساز فوزویج می باشد. آشکار ساز فوزویج تابش x رادون 510 keV را آشکار می سازد و لیدار جذبی تفاضلی، که از هماهنگ دوم لیزر Ti:Sa با دمش هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG بهره می گیرد، غلظت و محل توده رادون را در محدوده وسیعی تعیین می کند.

مقدمه:

عناصر طبیعی پرتوزا شامل زنجیره های اورانیم، توریم و اکتینیم می باشد که ویژگی مشترک آنها این است که هر کدام یک عنصر گازی شکل دارند و هر کدام ایزوتوپ خاصی از عنصر رادون می باشند. در سری اورانیم گاز تولید شده ^{222}Rn است که رادون نامیده می شود و در سری توریم این گاز از ^{220}Rn تشکیل می شود که آن را تورون می نامند و در سری اکتینیم گاز حاصل از نوع ^{229}Rn و اکتینون موسوم است.

بدلیل تراکم اورانیم و توریم در خاک، $3-4 \text{ ppm}$ ، گازهای ^{222}Rn و ^{220}Rn ، مهمترین عناصر پرتوزای طبیعی در اتمسفر می باشند. رادون اگر در اعماق صخره ها تشکیل شود، معمولاً قبل از واپاشی شانس اندکی برای رسیدن به سطح صخره و در نتیجه ورود به هوا را خواهد داشت. اما با شکسته شدن صخرهها، گاز رادون به خارج از صخره فرار می کند و به همین منظور در سالهای اخیر، وجود غیر عادی گاز رادون در هوا مقدمه بروز زلزله تشخیص داده شده است [۴-۱].

رادون گازی است بی رنگ، بی بو و سنگین ترین گاز نادر با اکتیویته بالا می باشد. رادون گسیل کننده آلفا می باشد و بعد از واپاشی به ^{218}Po تبدیل می شود (شکل ۱). مقدار طبیعی آن خیلی کم است به گونه ای که کشف آن خیلی مشکل بوده و با روشهای اندازه گیری اکتیویته کشف آن امکانپذیر شده است. میزان رها شدن گاز رادون به اتمسفر به تراکمهای محلی اورانیم و توریم موجود در زمین بستگی دارد و مقدار آن در شرایط عادی در حد ppm می باشد [۵].



شکل ۱: طرحواره واپاشی رادون به همراه دو ذره آلفا و یک فوتون گاما

تاکنون از تغییرات غیر عادی غلظت رادون در آبهای زیرزمینی و اتمسفر، با بکارگیری بعضی از آشکارسازهای آلفا از قبیل اتاقک یونش، شمارشگرهای سوسوزن، شمارشگر گایگر، شمشاگرهای سوسوزن مایع و آشکار سازهای حالت جامد (SSNTD) به منظور پیش‌گویی زلزله بهره گرفته شده است [۴-۱]. این روشها نقطه ای و زمانبر می باشند، لذا روشی که بر اساس دورسنجی اپتیکی رادون و طیف سنجی گاما می باشد، می تواند برای اندازه گیری تغییرات گاز رادون در منطقه وسیعی کارآمد باشد.

تئوری:

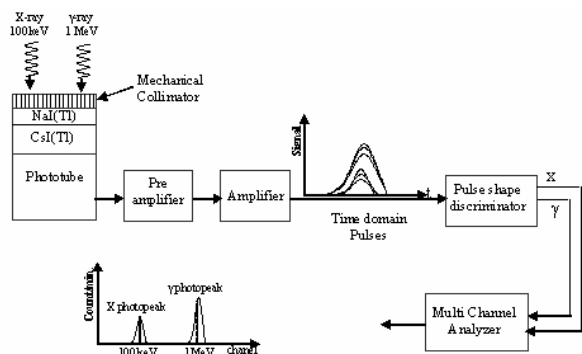
در جدول (۱) برخی از خصوصیات رادون خلاصه شده است. رادون نیز مانند دیگر عناصر زنجیره اورانیم گسیل کننده آلفا می باشد. به دلیل برد کوتاه ذرات آلفا، دورسنجی این عنصر امکانپذیر نمی باشد. از آنجایی که این عنصر بعد از واپاشی ^{220}Rn در حالت برانگیخته قرار دارد و بعد از گسیل یک فوتون با انرژی 510 keV به حالت پایدار می رسد، لذا می توان از ترکیب آشکار ساز فوزویچ و لیدار جذبی تفاضلی (DIAL) استفاده نمود.

جدول ۱: بعضی از خصوصیات رادون

Parameter	Value
Half-life ($T_{1/2}$)	3.82 d
Abundance (air)	ppm
Abundance (Earth's crust)	$4 \times 10^{-13} \text{ mg/kg}$
Density at 293 K	9.73 mg/cm^3
Atomic absorption line	351.7 nm
Strong atomic emission lines	745 & 705.5 nm

آشکار ساز فوزویچ (Phosphor Sandwich) از دو سوسوزن مختلف که با هم جفت شده و بر یک لامپ تکثیر کننده فوتون سوار شده اند، تشکیل می شوند. با استفاده از اختلاف بین ثابتهای واپاشی دو سوسوزن، جداسازی رویدادهایی که در دو آشکار ساز روی می دهند امکان پذیر است. ساختار اساسی آشکار ساز فوزویچ در شکل (۲) نشان داده شده است. یک سوسوزن نازک A با یک بلور ضخیم تر از سوسوزن B جفت می شود که این مجموعه به فوتوکاتد یک لامپ تکثیر کننده فوتون (PMT) متصل است. ترکیب بلورها، بستگی به نوع ذراتی دارد که در میدان تابشی مورد مطالعه حضور دارند. برای آشکارسازی X سخت لازم است آشکار ساز فوزویچ شامل NaI(Tl) (سوسوزن A) و CsI(Tl) (سوسوزن B) را انتخاب نمود. تپهایی که در این دو سوسوزن ایجاد می شوند بر اساس اختلاف بین واپاشی 0.25 میکروثانیه ای NaI و ثابت واپاشی یک میکروثانیه ای CsI از یکدیگر تمیز داده می شوند. تپهای کند از ذراتی حاصل می شوند که در CsI یا هر دو بلور به طور همزمان انرژی از دست می دهند. در یک میدان آمیخته انرژی پایین X و انرژی بالای گاما، تپهای نسبتاً سریع NaI از فوتونهای انرژی پایین سرچشمه می گیرند و این فوتونها هرگز به CsI نخواهند رسید. فوتونهای گاما در CsI جذب شده و فوتوپیک آنها بیانگر نوع عناصر پرتوزا خواهد بود. شکل (۲) عملکرد آشکار ساز فوزویچ را نشان می دهد. تابش ورودی با ماده سینتلاسیون برهم کنش کرده و ایجاد یونیزاسیون و برانگیزگی اتمی یا مولکولی می نماید. اتم ها یا مولکولهای برانگیخته با نشر یک فوتون نور وانگیخته می شوند. این نور از میان ماده سوسوزن و سپس از میان یک لوله تکثیر کننده فوتون (PMT) که نور را به یک سیگنال الکتریکی

تبدیل می کند، عبور می نماید. سپس سیگنال به پیش تقویت کننده فرستاده می شود. این دستگاه که بعد از آشکارساز قرار می گیرد به منظور جلوگیری از اختلا سیگنال و مزاحمتها می باشد. همچنین دستگاه فوق به منظور به حداکثر رساندن نسبت سیگنال



به نوبه حاصل از آشکارساز و تقویت اولیه و شکل دادن به سیگنال ضعیف آشکارساز بکار برده شده است. تقویت کننده، پالس را از پیش تقویت کننده دریافت نموده و تقویت بیشتری روی آن انجام می دهد. ADC یک مبدل آنالوگ به دیجیتال بوده که سیگنالهای آنالوگ را از تقویت کننده برداشته و آنها را به داده های دیجیتالی برای نگهداری در یک تحلیل گر چند کاناله (MCA) تبدیل می کند. هر پالس ورودی در یک کانال مناسب که مربوط به یک محدوده انرژی خاص از ذرات ورودی و تعداد اتفاقات در هر

کانال است نگهداری می شود. اطلاعات پردازش شده بوسیله MCA می تواند روی یک ترمینال کامپیوتر نشان داده شود. محور افقی نشانگر شماره کانال یا انرژی معادل فوتون ورودی و محور عمودی تعداد پالسها یا شمارشهای رسیده برای هر انرژی که معادل شدت تشعشع می باشد را نشان می دهد. PSD (Pulse Shape Discriminator) به منظور تمیز دادن وقایع در NaI و CsI بکار برده شده است. کمترین اکتیویته قابل آشکارسازی با این سیستم $10 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ برای زمان ۱۰۰ ثانیه و ۱۰۰ متر فاصله از توده گاز رادون محاسبه شده است [۶].

شکل ۲: عملکرد آشکارساز فوزویچ به منظور اندازه گیری همزمان دو فوتون با انرژی های ۱۰۰ keV و ۱ MeV.

چون آشکارساز فوزویچ قادر به تمیز بین توده چگال دور و توده رقیق نزدیک نمی باشد، لذا برای تعیین فاصله توده و غلظت مطلق گاز رادون در اتمسفر، لازم است از لیدار جذبی تفاضلی استفاده کرد.

در دور سنجی توسط لیدار جذبی تفاضلی، دو تپ لیزری پر توان و کوتاه از مرتبه ۱۰۰ ns، که یکی از آن ها روی قله جذب رادون (λ_{on}) تنظیم شده و دیگری در خارج از طیف جذب آن (λ_{off}) قرار دارد، همزمان به سمت توده گازی فرستاده می شوند. در همین هنگام زمان پرواز سیگنال نیز اندازه گیری می شود. تپ با طول موج λ_{off} بعد از برخورد با توده، بر اساس پراکندگی الاستیک ریلی (Rayleigh) یا مای (Mie) پس پراکنده می شود و تپ با طول موج λ_{on} جذب شده و در محل توده گازی افت شدیدی می یابد. با فرض نزدیک بودن دو طول موج λ_{on} و λ_{off} و همزمان بودن آنها، به منظور صرفنظر کردن از نوسانات طبیعی اتمسفر، خواهیم داشت [۷و۶]:

$$N(z) = \frac{I}{2[\sigma_{abs}(\lambda_{on}) - \sigma_{abs}(\lambda_{off})]} \frac{d}{dz} L_n \frac{P_s(\lambda_{off}, z)}{P_s(\lambda_{on}, z)} \quad (1)$$

که $\sigma_{abs}(\lambda_i)$ سطح مقطع جذب رادون $P_s(\lambda_i, R)$ و توان بازگشتی در طول موج λ_i می باشند. پس غلظت گاز رادون با متناسب است. با داشتن سطح مقطع جذب رادون بر حسب طول موج، می توان با استفاده از رابطه (۱) غلظت مولفه های توده را تعیین نمود.

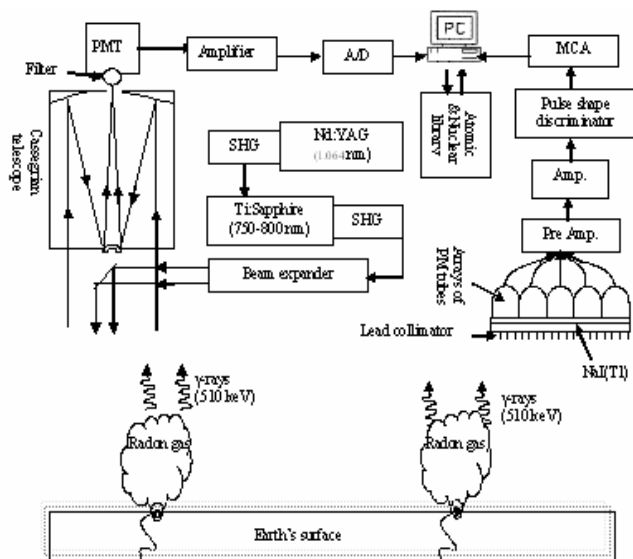
عملکرد سیستم هیبرید لیدار DIAL و فزویچ

شکل (۳) چگونگی عملکرد سیستم را نشان می‌دهد. ابتدا لیدار که همواره در حال جاروب کردن فضا است، سیگنال پس پراکنده یک توده را دریافت می‌کند و با توجه به TOF فاصله توده و سرعت آن مشخص می‌شود. سپس میدان دید آشکارساز فزویچ در راستای توده قرار گرفته و قله‌های فوتویک متناظر با ایکس مشخصه عناصر توده را مشخص می‌کند. ضمناً بخش ضخیم‌تر سوسوزن (CSI) قادر است به عنوان یک طیف سنج گاما قله‌های فوتوالکتریک متناظر با عناصر پرتوزای گسیل‌کننده گاما در توده رادیواکتیو را مشخص نماید. اگر فوتون‌های گاما با انرژی 510 keV وجود داشت، توده شامل گاز رادون می‌باشد. حال با استفاده از لیدار و تنظیم شدن لیزر در خط جذب رادون، غلظت رادون نیز توسط شیب پاسخ جذبی DIAL مشخص می‌گردد.

فرض می‌شود میدان دید (FOV) آشکارساز فزویچ و لیدار با هم برابر باشد. با توجه به جدول (۱)، هماهنگی دوم لیزر کوک پذیر تیتانیوم-سفاير پمپ شده با هماهنگی دوم لیزر Nd:YAG، قادر است به عنوان گمانه‌لیزری به کار گرفته شود تا گاز رادون را در خط 510 nm آشکار نماید. بعضی از مشخصات فیزیکی لیزر مناسب در دورسنجی گاز رادون در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: برخی از خصوصیات لیزر کوک پذیر مناسب برای دورسنجی گاز رادون

Property	Value
Laser wavelength (nm)	300-400
Average power (W)	3-10
Pulse energy (mj/pulse)	30-100
Laser bandwidth (GHz)	10-100
Target distance (m)	100-300
Pulse duration (ns)	10-30
Pulse repetition rate (Hz)	100-300
Vehicle velocity (km/hr)	10-100



شکل ۳: چگونگی عملکرد سیستم ترکیبی

نتیجه‌گیری

سیستم پیشنهادی که ترکیبی از لیدار جذبی دیفرانسیلی فرابنفش و آشکارساز فزویچ است، می‌تواند برای تشخیص آنی تغییرات ناگهانی گاز رادون ناشی از میکرو لرزه‌ها، به منظور پیش‌بینی زلزله، در منطقه وسیعی در حد ppm استفاده شود.

روشهای معمول که از آشکارسازهای آلفا بهره می‌گیرند زمانبر و همچنین محلی می‌باشند. سیستم پیشنهادی بسیار سریع بوده و می‌تواند با نصب شدن روی هلی کوپتر منطقه وسیعی را پوشش دهد.

آشکارساز فزویچ انرژی گامای رادون را تشخیص می‌دهد و لیدار DIAL فاصله توده و غلظت مطلق رادون را تعیین می‌کند. با تعیین غلظت گاز رادون و بررسی تغییرات ناگهانی آن می‌توان وقوع زلزله در محل را پیشگویی کرد.



مراجع

1. Dobrovolsky IP., Zubkov SI. Miachking VI., Estimation of the size of earthquake prediction zones, *Pure. Appl. Geophys.*, Vol. 117, 1044-1052, 1975.
2. Magro-Campero A., Fleischer RL. Likes RS., Changes in subsurface radon concentration associated with earthquakes., *J. Geophys. Res.*, Vol. 85, 3053-3057, 1980.
3. Ulomov V. I., and Mavashev B.Z., Dokl. Acad. Sci. USSR, Earth Sci. Sect., Vol. 9, 176, 1967.
4. Liu P., Wang D., Wan T., Acta Geophys. Sinica, Vol. 18, 276, 1975 (Chinese).
5. Report to the General Assembly, with annexes, Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation, *United Nations Publication, New York*, 1988.
6. Gh. R. Davouabadi, P. Parvin, " DIAL-Phoswich hybrid system for remote sensing of radioactive plumes in order to evaluate external dose rate", Submitted to Appl. Optics.
7. P.Parvin, et. al. , "The remote sensing of radioactive plume with a hybrid system including gamma spectroscopy and DIAL lidar", 22nd International Laser Radar Conference, July 12-16, 2004, Matara- Italy.