

## دسته‌بندی تصاویر با تفکیک بسیار بالای پرتوی با استفاده از محاسبات نرم

مصطفی برهانی

پژوهشکده اعجاز قرآن کریم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تهران، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده اعجاز قرآن کریم، کدپستی: ۱۹۸۳۹۶۹۴۱۱

پست الکترونیکی: mo\_borhani@sbu.ac.ir

### چکیده

هدف اصلی این مقاله به کارگیری روشی بر مبنای الگوریتم‌های هوش محاسباتی برای تهیه نقشه پرتوی است که به دسته‌بندی الگوهای مختلف شناسایی مناطق آلوده پرتوی و تغییر آلودگی پرتوی می‌پردازد. در این مقاله، برای تعیین درجه آلودگی پرتوی مناطق، استفاده از سیستم استنتاج فازی پیشنهاد شده است. در این تحقیق از داده‌های از طیف‌سنج پرتوی با قدرت تفکیک بسیار بالا (Ultra-high Resolution Spectrometry) در زمینه کشف اورانیوم استفاده شده است. حوزه پژوهش شامل ذخایر اورانیوم شناخته شده از جمله لامباپور-پداگاتو، چیتریال و کپونرو است. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا که برای اکتشاف اورانیوم جمع‌آوری شده بود، برای تخمین میانگین نرخ جذب در هوا به سبب توزیع پرتو ماده‌ها (پتاسیم در درصد و اورانیوم و توریم در بخش در میلیون) در این مناطق مورد استفاده واقع شد. همچنین برای تعیین میزان آلودگی پرتوی هر منطقه از سیستم استنتاج فازی ممدانی استفاده شده است. نتایج بدست آمده کارایی این روش را با دقتی برابر با ۷۶ درصد برای آشکارسازی سه سطح آلودگی پرتوی (بدون آلودگی پرتوی یا آلودگی پرتوی کم، آلودگی پرتوی متوسط و آلودگی پرتوی زیاد) و ۸۹ درصد برای شناسایی کلی مناطق آلوده از مناطق فاقد آلودگی پرتوی برآورد نمود.

**کلیدواژگان:** هوش محاسباتی، طیف‌سنج پرتوی با قدرت تفکیک بسیار بالا (Ultra-high Resolution Spectrometry)، استنتاج فازی ممدانی، نقشه پرتوی، استنتاج فازی، الگوریتم ژنتیک، SVM.

### ۱. مقدمه

قدرت تفکیک بسیار بالا (طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا) با رزولوشن بالا در این میان با قدرت تفکیک بسیار بالا و الگوریتم‌های آشکارسازی در برآورد آسیب‌های ناشی از بحران نقش به‌سزایی داشته‌اند. روش‌های آشکارسازی تغییرات به‌طور کلی در دو دسته پیکسل پایه و شی پایه و یا ترکیبی از این دو جای می‌گیرند. در روش‌های مبتنی بر شی اثر

در نظر گرفتن یک فرایند پایش مناسب در ارزیابی شدت و حوزه آلودگی پرتوی در بحث مدیریت بحران در مقابل تاثیر حوادث و ایمنی هسته‌ای امری ضروری است. در سال‌های اخیر به کارگیری فناوری‌های سنجش از راه دور و GIS در فرایند تهیه نقشه و نیز ارزیابی آسیب ناشی از بحران افزایش چشمگیری داشته است. همچنین تصاویر طیف‌سنج پرتوی با

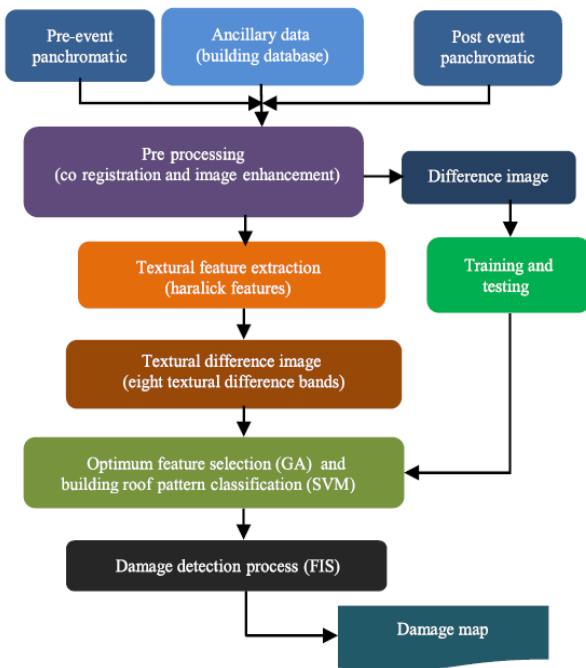
نویزها، اثرات جابه‌جایی‌ها و هم مختصات شدن‌ها به طور موثرتری کاهش می‌یابند. علاوه‌براین، کاربرد پردازش مشترک پیکسل‌شی نیز در روش‌های دیگری به کار گرفته شده است. در این مقاله ما بر توسعه روشی برای آشکارسازی آلودگی پرتوی با استفاده از ترکیب روش‌های هوش محاسباتی (الگوریتم ژنتیک)، SVM [23] و سیستم استنتاج فازی (FIS) تمرکز کرده‌ایم که سعی دارد این روش را با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا با قدرت تفکیک بسیار بالا انجام دهد.

طیف‌سنج پرتوی با قدرت تفکیک بسیار بالا (طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا) به طور گسترده‌ای برای نقشه‌برداری زمین‌شناسی و زیست‌محیطی و هم‌چنین کاوش‌های معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد [1]. در ابتدا چنین تکنیک‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا برای نقشه‌برداری زمین‌شناسی و اکتشاف اورانیوم استفاده می‌شدند، اما هم‌اکنون بیش از هر زمان دیگری به عنوان یک ابزار مهم برای مطالعات زیست‌محیطی [2] و مطالعات واکنش به شرایط اضطراری هسته‌ای (به ویژه زمانی که محدودیت زمانی وجود دارد) شناخته می‌شوند [3]. طیف‌سنجی اشعه هوایی گاما در مقایسه با آشکارسازی رادیومتری زمینی، یک روش سریع و کارآمد برای ثبت رادیواکتیویته در امتداد محدوده‌های فضایی بزرگ با زمین‌های وسیع و ناهمگون ارائه می‌دهد. پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های تنظیمات و پردازش داده‌ها، کارایی روش‌های طیف‌سنجی اشعه گاما برای حل و فصل و طرح‌ریزی اجزای مختلف پرتوی تابش را افزایش داده است. کاربردهای این روش به تخمین زیست‌محیطی اشعه یونیزاسیون و تعیین غلظت سزیم در خاک پس از حادثه راکتور اتمی چرنوبیل در سراسر سوئد، روسیه و فرانسه گسترش یافته است [4]. علاوه‌براین، بررسی‌های طیف‌سنجی اشعه گاما در شهرهای جنوبی چین، داده‌های پس‌زمینه ارزشمند و یک نمونه خوب

برای نقشه‌برداری تابش پرتو طبیعی و مقدار دز زمینی در سرتاسر کشور ارائه داده‌اند [5]. داده‌های طیف‌سنجی هوایی اشعه گاما در ارتفاع کم و با وضوح بالا برای ارزیابی زیست‌محیطی در معدن اورانیوم بازسازی شده نابارک در استرالیا سودمند است [6]. غلظت زمینی رادیونوکلیدهای طبیعی پتاسیم، اورانیوم و توریم با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی اشعه گاما که در طی چندین سال جمع‌آوری شده بود به نسبت‌های دز جذب شده تبدیل شد و هم‌چنین نمونه‌گیری خاک و سنجش‌های زمینی برای ارزیابی سطوح تابش پرتو محیطی در سراسر انگلستان مورد استفاده قرار گرفت [7]. به وسیله طیف‌سنجی هوایی اشعه گاما بر سطح تابش پرتو در نیروگاه‌های هسته‌ای (NPP) واقع در کالپاکام، تامینلادو و راتابتا در راجستان نظارت کردند [8]. رادیواکتیویته طبیعی و مقدار دز گاما جذب شده به سبب غلظت فعالیت‌های  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^4\text{K}$  در خاک و هوا نشان داد که سطح تابش پرتو پس‌زمینه طبیعی در مجاورت MAPS منطقه کالپاکام طبیعی است [9]. مطالعات اولیه‌ای در زمینه سطوح غلظت رادون/ترون در داخل و اطراف مناطق لامباپور-پداگاتو در ناحیه نالگوندا، تلاگانا در هند انجام دادند و مقادیر متوسط دز را برآورد کردند. میزان دوز گاما داخلی و خارجی در اطراف یک منطقه استخراج اورانیوم غنی واقع در گوگی در جنوب هند با بهره‌گیری از یک اندازه‌گیر ضریب گاما، دزیتر TLD و سیستم طیف‌سنجی اشعه گاما با آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص (HPGe) ارزیابی شد [10]. بررسی‌های زیست‌محیطی قبل از استخراج حاکی از آن بود که مقدار میانگین دز گاما جذب شده در منطقه گوگی ( $91 \text{ nGyh}^{-1}$ ) در مقایسه با مقدار جهانی ( $54 \text{ nGyh}^{-1}$ ) بالاتر بوده و مقدار میانگین کل هندوستان نیز بالا و برابر با  $69 \text{ nGyh}^{-1}$  بوده است [11].

به منظور ایجاد یک پایگاه داده پایه، مطالعه‌ای پیش‌عملیاتی در زمینه سطوح تابش گاما و غلظت طبیعی رادیونوکلید در

- ارزیابی ترکیب پارامترهای بهینه با استفاده از سیستم استنتاج فازی برای شناسایی درجه آلودگی پرتوی مناطق



شکل (۱): روند پیشنهادی تهیه نقشه آلودگی پرتوی.

منطقه مورد مطالعه پیشرو دربرگرفته بخش شمالی حوزه رودخانه کاداپا (شکل ۲) مشرف به زیر حوضه‌های سریسیلام و پالاند است که رسوبات اورانیوم مربوط به دگرشیبی درجه پایین در لامباپور-پیداگاتو [12] و چیتریال در زیرحوضه سریسیلام [13] و در کوپونرو-دوارکاپوری در زیرحوضه پالاند [14] واقع شده است. کانی‌زایی اورانیوم در زیرحوضه سریسیلام دگرشیبی مبدایی دارد که همراه با گرانیتوئیدی زیرزمینی و رسوبات فوقانی است. سنگ‌های معدن اورانیم که در امتداد دگرشیبی هستند با پوسته و غلاف‌های غنی‌تری محصور شده‌اند که در چهارسوی NNE-SSW و شکاف زیرزمینی NW-SE قرار گرفته‌اند [12]. در زیرحوضه جدیدتر و هم‌جوار پالاند مستقر در کوپونوره دوارکاپوری، سنگ‌های معدن اورانیوم هم در ماسه سنگ کوارتزی بنگانپالی و هم در گرانیت زیرزمینی نزدیک به محل اتصال دگرشیبی شکل

اطراف هر منطقه دارای ذخایر اورانیوم ضروری است. چنین مطالعاتی در ارزیابی اثرات رادیولوژیکی بر محیط زیست، در صورت انجام عملیات استخراج معادن در آینده مفید خواهند بود. علاوه بر این، چارچوب نظارتی پیرامون مواد رادیواکتیو را نمی‌توان به شکل موثری بدون آگاهی از تغییرات طبیعی پرتوماده بر سطح زمین برپا کرد. بنابراین داده‌های اولیه پرتوماده برای تعیین خط مشی‌های عمومی مناسب مربوط به کشف و توسعه منابع اورانیوم بسیار مهم و حیاتی هستند.

## ۲. روش شناسی تهیه نقشه آلودگی پرتوی

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از داده‌های مرکز تحقیقات و اکتشافات مواد معدنی (AMD) در طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا در زمینه کشف اورانیوم در حاشیه‌های شمالی حوزه رودخانه کاداپا استفاده شده است. حوزه پژوهش شامل ذخایر اورانیوم شناخته شده از جمله لامباپور-پیداگاتو، چیتریال و کوپونرو است. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا که برای اکتشاف اورانیوم جمع‌آوری شده بود برای تخمین میانگین نرخ جذب در هوا به سبب توزیع پرتو ماده‌ها (پتاسیم در درصد اورانیوم و توریم در بخش در میلیون) در این مناطق مورد استفاده واقع شد. باند پانکروماتیک این تصاویر به دلیل قدرت تفکیک مکانی بسیار بالای آن مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، روند انجام کار به شرح ذیل است:

- انجام پیش‌پردازش‌ها
- آماده‌سازی تصاویر پانکروماتیک آلودگی پرتوی
- استخراج مناطق با استفاده از داده‌های وکتوری نقشه زمینی (کمکی)

- محاسبه ویژگی‌های بافتی تصویر آلودگی پرتوی
- تعیین سه پارامتر بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و SVM

یک سری از خطوط هوایی موازی با فاصله ۲۰۰ متری در ارتفاع ۶۰۸۰ متری و بالاتر از سطح زمین (AGL) با سرعت پرواز ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتری بر ساعت جمع‌آوری شد. از سیستم ناوبری AGPS (ناتل با سیستم توسعه گسترده ناحیه‌ای) و یک ارتفاع‌سنج راداری برای ناوبری همراه با دیگر سنسورهای فشار و دما استفاده شدند. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا با استفاده از طیف‌سنج اشعه گاما (مدل RSX-5 راه حل‌های پرتوافشانی [www.radiationsolutions.ca](http://www.radiationsolutions.ca)) به دست آمدند که یک سیستم کاملاً یک‌پارچه بوده و شامل یک طیف‌سنج دیجیتال پیشرفته (ADS) برای هر کریستال در داخل جعبه آشکارساز می‌باشد. آشکارساز NaI(Tl) دارای یک تثبیت‌کننده خودکار چندگانه برای ایزوتوپ‌های طبیعی است. سیستم طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا متشکل از ۴ کریستال رو به پایین است که هر کدام ۴/۲ لیتر با ابعاد ۱۰ در ۱۰ در ۴۰ سانتی‌متری است و یک کریستال رو به بالا وجود دارد که ۴/۲ لیتر است. این سیستم داده‌ها را روی ۱۰۲۴ کانال در یک محدوده انرژی ۰٫۳ مگا‌الکترون ولتی ضبط و هم‌چنین اندازه‌گیری‌های GPS و ارتفاع‌سنج راداری در منطقه مورد مطالعه را هر یک بار در ثانیه ثبت می‌کند. وضوح و حساسیت سیستم آشکارساز به صورت روزانه بررسی می‌شود. قبل از اولین پرواز و پس از آخرین پرواز، در یک لاین از پیش تعیین شده پرواز آزمایشی صورت گرفت تا بتوان عملکرد سیستم و تکرارپذیری آن را معین کرد. درجه‌بندی سیستم رادیومتری برای کاهش دقیق داده‌های طیف‌سنجی اشعه گاما به منظور تخمین غلظت K (%، U (ppm) و Th (ppm) ضروری است [17]. تعدادی از پروازهای درجه‌بندی برای برآورد ضرایب کالیبراسیون انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. درجه‌بندی‌های طیف‌سنج اشعه گاما بر روی پدهای درجه‌بندی واقع در ناگپور هند انجام و نرخ زدودگی ( $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\alpha$ ) آن‌ها

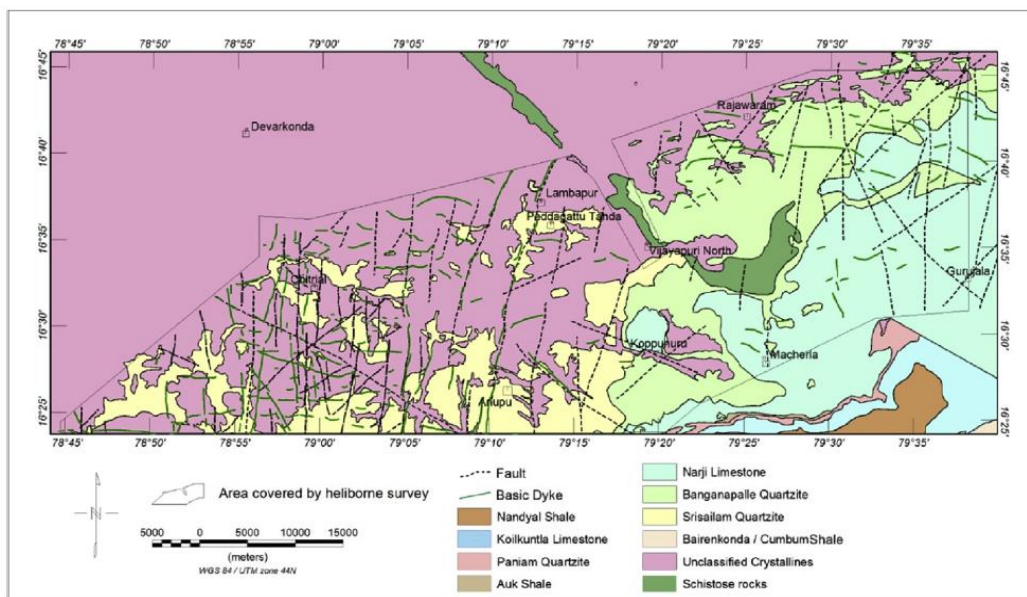
می‌گیرند [14]. در مقایسه با توریم در سنگ‌های منبع، گرانیوتیویدهای نخست‌زیستی به پیشین‌زیستی دیرینه با اورانیوم غنی شده‌اند [15]. علاوه بر این، ماهیت بسیار شکننده این منبع باعث افزایش شفافیت اورانیوم و در نتیجه حمل‌ونقل بهتر آن می‌شود. چندین سد و خاکریز با اشکال مختلف که فراهم‌کننده منابع گرمایی ضروری برای حرکت و حمل‌ونقل مایعات هستند به این زیرحوضه‌ها نفوذ کرده که منجر به اشباع اورانیوم و رسوب آن در مکان‌های مناسب می‌شود. داده‌های رادیومتریکی، مغناطیسی و الکترومغناطیسی هلیبورن به دست آمده از چنین محیط زمین‌شناسی، اطلاعات مفیدی در زمینه اتصالات سنگ‌شناسی، مافیک‌های فرورونده و دیگر جزئیات ساختاری همانند دگرشیبی، گسل‌ها یا شکاف‌ها در این منطقه ارائه می‌دهند [16].

انرژی پرتوهای گامای تولید شده توسط واپاشی هسته‌ای مشخصه یک تخریب نوکلئید است. طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا شدت و انرژی‌های این اشعه‌های گاما را اندازه‌گیری می‌کند که بیان‌گر توزیع رادیونوکلئیدها است. تابش پرتو گامای طبیعی عناصر رادیواکتیو  $^{238}\text{U}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{4}\text{K}$  در نقشه‌برداری زمین‌شناسی و دیگر کاربردهای محیطی استفاده می‌شوند. بیسموت-۲۱۴ ( $^{214}\text{Bi}$ ) اشعه گامای با انرژی ۱/۷۶ مگا‌الکترون ولت منتشر می‌کند و محصول واپاشی  $^{238}\text{U}$  نشان‌دهنده غلظت اورانیوم است. تالیم-۲۰۸ ( $^{208}\text{Tl}$ ) (۲۰۸-۲۳۸U) محصول فروپاشی  $^{232}\text{Th}$  نشان‌دهنده محتوای توریم است. پتاسیم-۴۰ ( $^{40}\text{K}$ ) تنها ایزوتوپ پتاسیم است که دلالت بر محتوای پتاسیم دارد.

مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی (AMD)، بررسی‌های ژئوفیزیکی هلیبورن با وضوح بالا در هندوستان و حاشیه‌های شمالی حوضه کاپا بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ انجام داد. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا و هم‌چنین دامنه زمان الکترومغناطیسی و مقیاس‌های مغناطیسی در امتداد

شده قابل حمل (طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا) به طور هم‌زمان در حین بررسی هلیبورن صورت گرفت. طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا با کریستال NaI (TI) ۲" در ۲" یک پردازش سیگنال دیجیتال مبتنی بر آنالیزور چند کاناله است که از طریق منبع مرجع 137Cs یا محل قرارگیری پیک 40K ثابت خودکار موقعیت مکانی پیک را بهبود داده است (www.gfinstruments.cz). داده‌های ۵۱۲ کانال با محدوده انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت تا ۳ مگا الکترون ولت با صفر زمان مرده را ثبت می‌کند. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا و طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا در هر مکان ثابت برای برآورد افت ارتفاع ضریب  $\mu$  و حساسیت ضریب S مورد استفاده قرار گرفت.

محاسبه شد. پد درجه‌بندی از یک پد پس‌زمینه، چند پد حاوی غلظت‌های مشخص شده U238, K40 و Th232 و یک پد مخلوط تشکیل شده است [18]. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا از ارتفاع‌های مختلفی در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ فوت و به طور مجزا برای هر ۵ دقیقه در هر ارتفاع جمع‌آوری و برای ارزیابی پس‌زمینه هواپیمای و عامل کیهانی استفاده شد. یک مکان مناسب شناور شناسایی شد (منطقه‌ای با توزیع رادیو عنصری یکنواخت) و داده‌های موجود در این مکان ثابت در ارتفاع‌های مختلف از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ فوت ارتفاع جمع‌آوری گردید. یک بررسی رادیومتری زمینی روی همان مکان شناور با استفاده از یک طیف‌سنج پرتوی گامای کالیبره



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که لامباپور-پداگاتو، چیتریال و کوپونورو و حاشیه شمالی حوضه کاداپا.

جدول (۱): فاکتورهای کالیبراسیون، زدودگی و حساسیت

جدول ۱

ضرایب زدودگی				اندازه گیری حساسیت در ارتفاع ۲۰۰ فوت		
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	a	Ks	Us	Ths
0.3445	0.4228	0.8582	0.1186	49.15	2.815	3.19
(a) پس زمینه ی هواپیما و ابزار آلات				(b) ضریب کیهانی		(μ) ضریب کاهش ارتفاع
کل کانال			56.6	0.845		0.00192
پتاسیم			7.0	0.042		0.00258
اورانیوم			2.2	0.024		0.00189
توریم			1.11	0.055		0.00151
اورانیوم رو به بالا			0.2	0.006		

Second moment

$$\sum_i^M \sum_j^M P[i, j]^2$$

Entropy

$$-\sum_i^M \sum_j^M P[i, j] \log P[i, j]$$

Correlation

$$\sum_i^M \sum_j^M \frac{(ij)P[i, j] - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$$

در شناسایی مناطق آلوده پارامترهای بافتی به دلیل آن که قادرند وابستگی مکانی پیکسل‌ها را در تصاویر شناسایی کند از اهمیت بالایی برخوردارند. در تحلیل‌های بافتی اغلب از ماتریس‌های GLCM استفاده می‌شود. برای محاسبه مقادیر بافتی از یک پنجره ۵\*۵ در جهت‌های ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه روی تصویر استفاده شده است. سپس تصویر اختلاف مقادیر بافتی با تفریق مقادیر هر بافت از تصویر آلودگی پرتوی حاصل گردید. مرحله پیش‌پردازش به شرح ذیل است:

- تطابق هیستوگرام دو تصویر
  - هم‌مختصات کردن دو تصویر و داده کمکی با ۵۰ نقطه
  - طبقه‌بندی آلودگی در سه کلاس آلودگی پرتوی در سه حالت آلودگی پرتوی کم، متوسط و بسیار شدید
- برای انتخاب پارامترهای بهینه و طبقه‌بندی آلودگی پرتوی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. انتخاب پارامترهای بهینه با استفاده هر دو روش الگوریتم ژنتیک و SVM به طور هم‌زمان انجام شده است. مجموعه بهینه از سه پارامتر بافتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انتخاب شدند و دقت طبقه‌بندی با استفاده از SVM بررسی شده است. SVM به عنوان یک روش

### ۳. هوش محاسباتی در تهیه نقشه آلودگی پرتوی

بکارگیری دقیق و مناسب هوش محاسباتی در تهیه نقشه پرتوی با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا اساساً به میزان و کیفیت داده‌های اندازه‌گیری پرتوهای رادیواکتیو وابسته است. در روش پیشنهادی، پس از انجام پیش‌پردازش‌های اولیه، تصاویر هم‌مختصات شده و هیستوگرام طیفی آن‌ها با یکدیگر تطبیق داده شد. سپس بافت‌های موجود مطابق با روابط ۱ تا ۸ استخراج و ترکیب بهینه‌ای از سه بافت با استفاده از الگوریتم ژنتیک و SVM انتخاب گردیدند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد این ترکیب بافتی برای طبقه‌بندی درجه آلودگی پرتوی مناطق به سه کلاس آلودگی پرتوی کم، متوسط و شدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۱)

Mean

$$\frac{1}{2} \sum_i^M \sum_j^M (iP[i, j] + jP[i, j])$$

Variance

$$\frac{1}{2} \sum_i^M \sum_j^M ((i - \mu)^2 P[i, j] + (j - \mu)^2 P[i, j])$$

Homogeneity

$$\sum_i^M \sum_j^M \frac{P[i, j]}{1 + |i - j|}$$

Contrast

$$\sum_i^M \sum_j^M (i - j)^2 P[i, j]$$

Dissimilarity

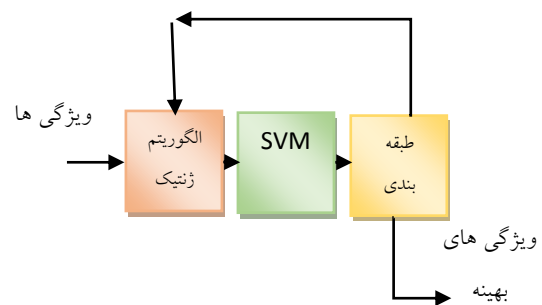
$$\sum_i^M \sum_j^M |i - j| P[i, j]$$

#### ۴. پیاده‌سازی، نتایج و بحث

پردازش داده‌های خام طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا ملزم یک سری مرحله است که در آن داده‌ها به غلظت‌های زمینی به پرتوماده تبدیل می‌شوند. داده‌های به دست آمده تحت اصلاحات مختلفی قرار می‌گیرند: (۱) زمان مرده، (۲) حذف پس‌زمینه‌های کیهانی، هواپیمایی و رادون، (۳) اصلاح زدودگی برای حذف اثرات فروپاشی کامپتون و (۴) اصلاح کاهش ارتفاع برای از بین بردن تغییرات موجود در بررسی اسمی ارتفاع پرواز. سپس داده‌های اصلاح شده با استفاده از حساسیت‌ها به غلظت‌های زمینی مشابه تبدیل می‌شوند [20].

داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا با استفاده از ماژول PRAGA-3 (الگوریتم پیکو پرتو هوایی به زمینی) پردازش می‌شوند که تکنیک‌های پردازش چند کاناله مانند تجزیه مقادارهای منفرد با نویز تعدیل شده (NASVD) [20]، کسر حداکثر نویز (MNF) و کسر حداکثر نویز بهبود یافته (eMNF) را تسهیل می‌کند [21]. این روش‌ها کل مجموعه داده‌ها را آنالیز می‌کند تا مولفه‌های اصلی مورد استفاده در بازسازی طیف‌های پاک را استخراج کرده که بعداً برای اصلاحات استاندارد استفاده خواهند شد. این تکنیک‌ها به وسیله اطلاعات موجود در طیف کامل (کانال‌های 256/512/1024)، عدم قطعیت در تخمین غلظت پتاسیم، اورانیم و توریم را کاهش می‌دهند. در پردازش داده‌ها، نویز طیفی با استفاده از NASVD حذف و سپس زمان مرده اصلاح شد. از این رو، درجه‌بندی انرژی انجام شد و به دنبال آن اصلاحات پس‌زمینه کیهانی و هواپیمایی صورت گرفت. پس‌زمینه رادون به وسیله تکنیک آشکارساز رو به بالا [22] حذف شد و سپس مشکل ارتفاع در داده‌ها رفع شد تا اثر

طبقه‌بندی نظارت شده قدرتمند شناخته شده است که در آن می‌توان نتایج دقیقی را با استفاده از تعداد محدودی از داده‌های آموزشی بدست آورد. از فرآیند SVM [23] برای شناسایی میزان آلودگی پرتوی پیکسل‌های مناطق در سه کلاس آلودگی پرتوی کم، متوسط و شدید استفاده شده است. در این مقاله از تابع کرنل (RBF) به طور گسترده برای طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا استفاده شده است [19]. روند استفاده از الگوریتم ژنتیک و SVM جهت انتخاب پارامترهای بهینه در شکل ۳ دیده می‌شود.



شکل (۳): روند انتخاب پارامترهای بهینه.

تعیین میزان آلودگی پرتوی مناطق در سه کلاس ذکر شده با ارزیابی میزان تاثیر سه پارامتر بافتی بر مناطق تعیین می‌شود. تعیین درجه عضویت این پارامترهای بافتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی انجام می‌شود.

سیستم استنتاج فازی فرایند نگاشت برخی از متغیرهای ورودی به یک متغیر خروجی با استفاده از منطق فازی است که دارای سه مرحله اصلی فازی سازی، نتیجه‌گیری و غیرفازی سازی است. فازی سازی شامل فازی کردن متغیرهای ورودی و اختصاص درجه عضویت به هر یک از پارامترهاست. قواعد فازی با ترکیب درجه عضویت ورودی‌ها به نسبت درجه آلودگی پرتوی مناطق ارزیابی می‌شود. سپس خروجی غیر فازی بر مبنای میزان آلودگی پرتوی مناطق حاصل می‌شود. نتیجه مرحله طبقه‌بندی نمایش الگوی آلودگی پرتوی منطقه در سه کلاس مجزای بدون آلودگی پرتوی یا آلودگی پرتوی کم، آلودگی پرتوی متوسط و آلودگی پرتوی زیاد است.

دارد. تابش پرتو گامای زمینی عمدتاً توسط 4K و حاصل فروپاشی سری 238U و 232Th تولید می شود و پرتوهای کیهانی ساطع کننده تابش فرازمینی هستند. مقدار رادیونوکلئید طبیعی در میزان دز مشاهده شده در هوا به غلظت رادیونوکلئید در خاک بستگی دارد. بین تابش پرتوی گامای زمینی و غلظت رادیونوکلئید در خاک یک هم بستگی مستقیم وجود دارد. با استفاده از معادله زیر، سطح میزان دوز در غلظت های زمینی K (%), eU (ppm) و eTh (ppm) منطقه مورد مطالعه در امتداد حاشیه های شمالی حوزه رودخانه کاداپا محاسبه شد (IAEA, 2010).

$$(2) \quad K(\%) + 5.675 \times eU(\text{ppm}) + 2.494 \times eTh(\text{ppm})$$

هم پوشانی و اختلاف ارتفاع بین کانال ها از بین برود. در نهایت پس از تمام این اصلاحات، یا استفاده از فاکتور حساسیت، تبدیلات غلظت زمینی (% K, eU (ppm) و eTh (ppm) محقق شد. سپس داده ها از طریق الگوریتم حداقل انحراف شبکه بندی شده و با استفاده از سلول ۵۰ متری مورد تجزیه و تحلیل بیشتری قرار گرفتند.

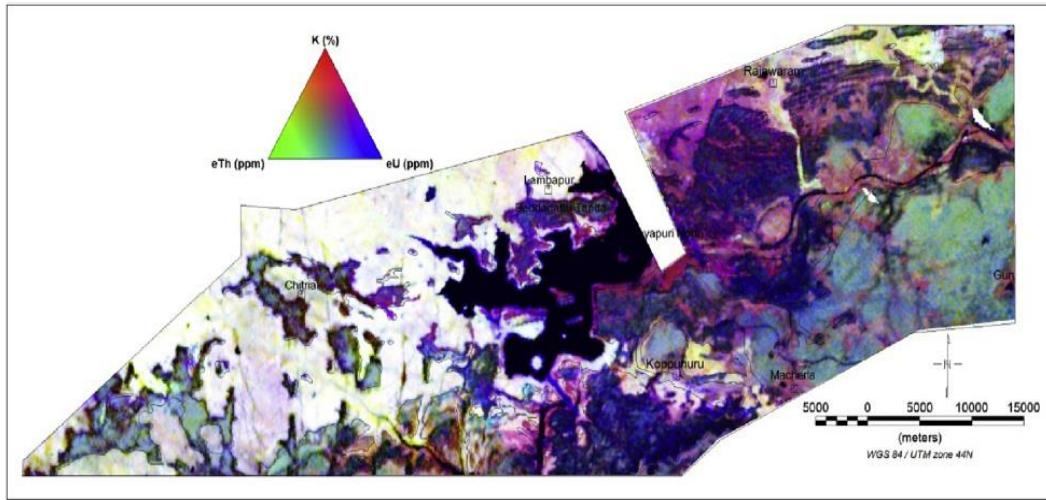
تفسیر داده های پردازش شده طیف سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا با هدف تهیه یک نقشه ژئوشیمیایی براساس توزیع پرتوماده هایی مانند اورانیوم (eU در ppm)، توریم (eTh در ppm) و پتاسیم (K در %) در این منطقه و همچنین برای معین کردن مکان های غیر معمول دارای غلظت اورانیوم انجام شد. تصویر رادیومتری سه بعدی (شکل ۴) در تسریع نقشه برداری واحدهای مختلف لیتوگومزی، گرانیتهای زیرزمینی و سنگ های رسوبی، رسوبات سریسالیوم کوارتزیت محصور شده با سنگ رسی و سنگ سیلتی و رسوبات پالاند انباشه شده با کوارتزیت، سنگ آهک و سنگ رسی نقش مهمی داشت. از آنجایی که دایک های مافیک غلظت پرتوماده ای پایینی دارند، به خوبی دریافت می شوند و با آنچه از تفسیر تصاویر ماهواره ای و داده های مغناطیسی به دست می آید هم خوانی دارند. به طور مشابه، رسوبات سریسیلیام و پالاند به شکل گسترده ای به عنوان سنگ رسی، سنگ سیلتی، سنگ آهکی و کوارتز آرنیت دسته بندی می شوند که مبتنی بر تغییرات نسبی در پرتوماده ها هستند (شکل ۴).

در این مطالعه، پس از محاسبه پارامترهای بافتی بر روی تصویر قبل و بعد از آلودگی پرتوی و بهینه سازی آن ها سه پارامتر mean, Dissimilarity و Second moment به عنوان پارامترهای بهینه انتخاب شدند. پارامترهای الگوریتم ژنتیک با اندازه جمعیت ۵۰، نرخ تقاطع ۸۰ درصد و نرخ تحول ۵ درصد تنظیم شده است.

تابش پس زمینه طبیعی هم منشاء زمینی و هم منشاء فرازمینی



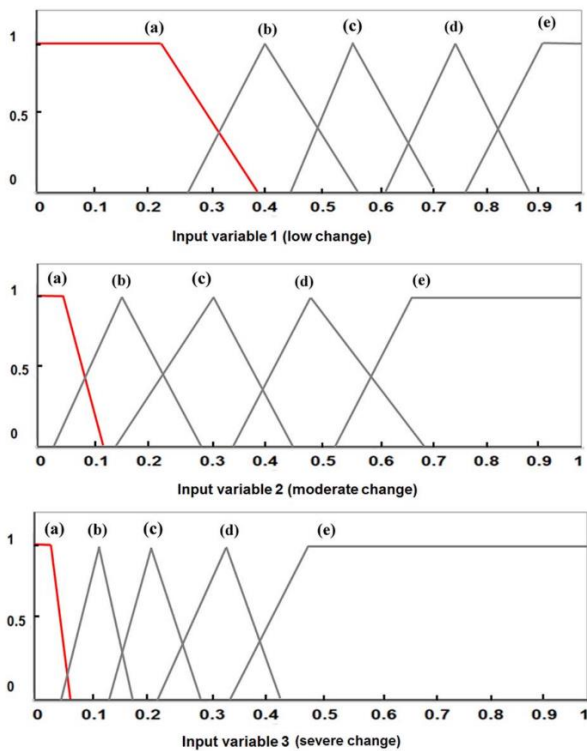




شکل (۴): تصویر سه بعدی رادیومتریک تولید شده از داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا در منطقه مورد مطالعه.

کلاس آلودگی پرتوی کم، متوسط و شدید تقسیم شده است. برای ایجاد یک نقشه آلودگی پرتوی مطلوب، این الگوی توزیع برای ورودی به سیستم استنتاج فازی در نظر گرفته شده است. توابع عضویت استفاده شده برای فرایند فازی سازی و غیرفازی سازی در شکل ۵ و ۶ نمایش داده شده است.

در پیاده‌سازی SVM مجموع داده‌های آموزشی ۵۰۰ و تعداد کل پیکسل در هر کلاس ۱۵۰۰ در نظر گرفته شده است. هر پیکسل بخش کوچکی از مناطق را نمایش می‌دهد که با درجه آلودگی پرتوی مشخص شده است. این پیکسل‌ها از تصویر حاصل از تفرق دو داده قبل و بعد بدست می‌آیند. با استفاده از SVM و سه پارامتر بهینه منتخب، تصویر به سه



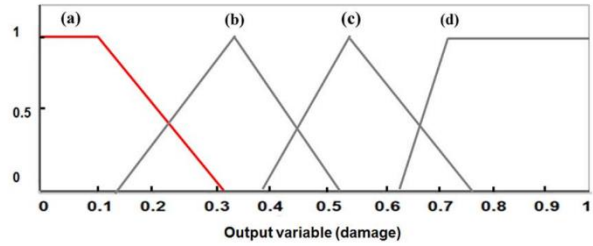
شکل (۵): توابع فازی سازی.

موثر سالانه استفاده شد. میزان دز موثر سالانه در واحدهای

$mSvy^{-1}$  براساس رابطه تجربی زیر محاسبه شد: (۳)

$$Effective\ Dose\ rate\ (mSvy^{-1}) = Dose\ rate\ (nGyh^{-1}) \times 8760\ h \times 0.2 \times \frac{0.7Sv}{Gy} \times 10^{-6}$$

در این مقاله از سیستم فازی ممدانی استفاده شده است [24]. خروجی این سیستم فازی باید پس از نتیجه گیری، غیر فازی شده و به نتیجه واقعی تبدیل شود. دقت کلی این روند با تقسیم پیکسل هایی که بطور صحیح دسته بندی شده اند با مجموع پیکسل ها در ماتریس Confusion محاسبه شده است که در جدول ۲ آمده است.



شکل (۶): توابع غیر فازی سازی.

میزان دز گاما جذب شده در  $nGyh^{-1}$  نیز به نسبت های دز موثر سالانه در  $mSvy^{-1}$  که مطابق با [11] و [7] است تبدیل شدند.

ضریب تبدیل دز جذب شده در هوا به دز موثر (0/7 Sv/Gy) و فاکتور جذب در فضای باز برای برآورد میزان دز

جدول (۲): نتایج ماتریس ابهام.

ماتریس ابهام		روش پیشنهادی				دقت فرایند (PA)
		بدون آلودگی پرتوی یا آلودگی پرتوی کم	آلودگی پرتوی متوسط	آلودگی پرتوی زیاد	جمع	
داده مرجع	بدون آلودگی پرتوی یا آلودگی پرتوی کم	954	508	73	1535	0.62
	آلودگی پرتوی متوسط	893	2135	650	3678	0.58
	آلودگی پرتوی زیاد	32	539	5510	6081	0.91
	جمع	1657	3214	6423		
	دقت کاربر (UA)	0.58	0.66	0.86		OA = 0.76 K = 0.59

ضریب کاپا در رابطه ۴ نیز از تقسیم تعداد مناطقی که بطور صحیح در هر کلاس تقسیم بندی شده است با در نظر گرفتن خطای هر کلاس و نیز مجموع مناطق محاسبه می شود.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (4)$$

با در نظر گرفتن دقت شناسایی درجه آلودگی پرتوی مقادیر کلاس های بدون آلودگی پرتوی یا آلودگی پرتوی کم، آلودگی پرتوی متوسط، به نسبت کلاس آلودگی پرتوی زیاد این نتیجه حاصل می شود که این مدل برای شناسایی درجه آلودگی پرتوی های پائین از دقت کمتری برخوردار است که

دقت کلی (OA) با تقسیم پیکسل هایی که بطور صحیح طبقه بندی شده اند به نسبت تعداد کل پیکسل ها در ماتریس Confusion محاسبه شده است. دقت فرایند (PA) نیز با تقسیم تعداد پیکسل های دسته بندی شده در هر کلاس نسبت به کل پیکسل های آن کلاس محاسبه می شود. دقت کاربر (UA) احتمالی که یک پیکسل روی تصویر آن کلاس را روی زمین نشان می دهد به نسبت تعداد پیکسل هایی که بطور صحیح ارزیابی شده اند در هر کلاس به نسبت کل پیکسل هایی که صحیح دسته بندی شده اند سسنجیده می شود.

مناطق شناسایی کند. سیستم استنتاج فازی با استفاده از توابع عضویت و نتایج داده‌های از قبل تعیین شده بر آن است تا ترکیب پارامترهای بهینه را برای شناسایی مناطقی آلوده استنتاج کند. در این تحقیق از داده‌های مرکز تحقیقات و اکتشافات مواد معدنی با استفاده طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا در زمینه کشف اورانیوم در حاشیه‌های شمالی حوزه رودخانه کاداپا استفاده شده است. حوزه پژوهش شامل ذخایر اورانیوم شناخته شده از جمله لامباپور-پداگاتو، چیتیرال و کپونرو است. داده‌های طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا که برای اکتشاف اورانیوم جمع‌آوری شده بود برای تخمین میانگین نرخ جذب در هوا به سبب توزیع پرتوماده‌ها در این مناطق مورد استفاده واقع شد. باند پانکروماتیک این تصاویر به دلیل قدرت تفکیک مکانی بسیار بالای آن مورد استفاده قرار گرفت. نقشه آلودگی پرتوی حاصل از الگوریتم ارائه شده در مقایسه با داده‌های تهیه شده از اطلاعات زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت که دقت کلی ۷۶ درصد برای آشکارسازی سه سطح آلودگی کم، متوسط و زیاد و ۸۹ درصد برای شناسایی مناطق آلوده از مناطق فاقد آلودگی پرتوی برآورد شدند که برای چنین پایش آلودگی دقت مناسبی است. لازم به ذکر است که بسیاری از منابع شناخته شده و ناشناخته خطا در مراحل مختلف فرایند انجام کار درگیر بوده‌اند. به گونه‌ای که بسیاری از این خطاها بصورت تکنیکی اجتناب‌ناپذیر بودند.

با توجه به احتمال بودن آشکارسازی آلودگی پرتوی‌های بیش‌تر این نتیجه منطقی است.

برای نمایش درجه آلودگی پرتوی به صورت باینری (آلودگی پرتوی و عدم آلودگی پرتوی\* درجات آلودگی پرتوی ۱، بدون آلودگی پرتوی یا آلودگی پرتوی کم، آلودگی پرتوی متوسط با هم ترکیب شده و تحت کلاس مناطق فاقد آلودگی پرتوی تعریف گردید و درجه آلودگی زیاد نیز به عنوان کلاس آلودگی پرتوی شده تعریف شد. بر این اساس مجدداً دقت مدل ارزیابی و دقت فرایند برای کلاس مناطق فاقد آلودگی پرتوی ۸۶ درصد و برای آلودگی پرتوی ۹۱ درصد بدست آمد و دقت کاربر به ترتیب ۸۹ و ۸۸ درصد حاصل شد. دقت کلی مدل نیز بر این اساس ۸۹ درصد بدست آمد. این نتایج تا حد زیادی به همدیگر نزدیک بوده و به طور قابل قبولی دقت بالایی را نمایش می‌دهد.

## ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش جدیدی برای تهیه نقشه آلودگی پرتوی با استفاده از ۸ پارامتر بافتی هارالیک از باند پانکروماتیک داده‌های تصاویر طیف‌سنجی پرتوی با رزولوشن بسیار بالا ارائه شده است. الگوریتم‌های GA و SVM به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفته است تا مجموعه پارامترهای بهینه‌ای متشکل از Second و Dissimilarity، mean Moment را انتخاب کنند تا وضعیت آلودگی پرتوی را در

## ۶. مراجع

- [1] D. C. W. Sanderson, A. J. Cresswell & D. C. White (2008) The effect of flight line spacing on radioactivity inventory and spatial feature characteristics of airborne gamma-ray spectrometry data, *International Journal of Remote Sensing*, 29:1, 31-46, DOI: 10.1080/01431160701268970
- [2] D. Srinivas, V. Ramesh Babu, I. Patra, Shailesh Tripathi, M.S. Ramayya, A.K. Chaturvedi, Assessment of background gamma radiation levels using airborne gamma ray spectrometer data over

- uranium deposits, Cuddapah Basin, India – A comparative study of dose rates estimated by AGRS and PGRS, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 167, 2017, Pages 1-12.
- [3] Mohsen Rezaei, Mansour Ashoor, Leila Sarkhosh, Numerical evaluation of gamma radiation monitoring, *Nuclear Engineering and Technology*, Volume 51, Issue 3, 2019, Pages 807-817, ISSN 1738-5733, <https://doi.org/10.1016/j.net.2018.12.020>.

- [4] Sanderson, D. , Allyson, J.D., Tyler, A.N., Ni Riain, S. and Murphy, S. (1993) An Airborne Gamma Ray Survey of Parts of SW Scotland in February 1993. Final Report. Project Report. Scottish Universities Research and Reactor Centre, Glasgow, UK.
- [5] Shengqing Xiong, Nanping Wang, Zhengguo Fan, Xingming Chu, Qifan Wu, Shaoying Pei, Jianhua Wan & Lihui Zeng (2012) Mapping the terrestrial air-absorbed gamma dose rate based on the data of airborne gamma-ray spectrometry in southern cities of China, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 49:1, 61-70, DOI: 10.1080/18811248.2011.636550
- [6] Martin, P., Tims, S., McGill, A. et al., "Use of Airborne  $\gamma$ -Ray Spectrometry for Environmental Assessment of the Rehabilitated Nabarlek Uranium Mine, Australia," *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 115, Issue 1–3, pp 531–554., 2006.
- [7] D. Beamish, "Environmental radioactivity in the UK: the airborne geophysical view of dose rate estimates," *J Environ Radioact.* 2014 Dec; 138:249-63. doi: 10.1016/j.jenvrad.2014.08.025.
- [8] Katti, V.J. & Dattanarayana, T.A. & Sreehari, R. & Kak, S.N.. (1997). Radiation monitoring in the environs of nuclear power plants in india using airborne gamma-ray spectrometry. 10. 107-118.
- [9] M, Sowmya & Senthilkumar, Bojarajan & Seshan, Ranga & Govindasamy, Hariharan & Ramachandran, Purvaja & Ramkumar, S & Ramachandran, Ramesh. (2010). Natural radioactivity and associated dose rates in soil samples from Kalpakkam, South India. *Radiation protection dosimetry.* 141. 239-47. 10.1093/rpd/ncq169.
- [10] N. Karunakara, I. Yashodhara, K. Sudeep Kumara, R.M. Tripathi, S.N. Menon, S. Kadam, M.P. Chougaoonkar, Assessment of ambient gamma dose rate around a prospective uranium mining area of South India – A comparative study of dose by direct methods and soil radioactivity measurements, *Results in Physics*, Volume 4, 2014, Pages 20-27, ISSN 2211-3797, <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2014.02.001>.
- [11] UNSCEAR, "United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiation. Rep. General Assembly.," Sources, United Nation, New York, 654., 2000.
- [12] Sinha, R.M., Shrivastava, V.K., Sarma, G.V.G., & Parthasarathy, T.N. (1995). Geological favourability for unconformity-related uranium deposits in northern parts of the Cuddapah basin: evidences from Lambapur uranium occurrence, Andhra Pradesh, India. *Exploration and Research for Atomic Minerals*, 111-126.
- [13] Verma, Mohan. (2009). Srisailam sub-basin, an uranium province of unconformity-related deposits in Andhra Pradesh – case study of Chitrial uranium exploration, Nalgonda District M. B. Verma<sup>1,\*</sup>, P. B. Maithani<sup>2</sup>, A. Chaki<sup>2</sup>, P. Nageshwar Rao<sup>2</sup> and Prakher Kumar<sup>3</sup>. *Current science.* 96. 588-591.
- [14] Jeyagopal, A.V., Kumar, Prakhar, & Sinha, R.M. (Dec 1996). Uranium mineralization in the Palnad sub-basin, Cuddapah basin, Andhra Pradesh, India. *Current Science (Bangalore)*, 71(12), 957-959.
- [15] P. R. J. Parihar, "Cuddapah Basin e A Uranium province," *Explor. Atomic Minerals* 22, pp. 1-19, 2012.
- [16] Rajaraman, H. & Veldi, Ramesh Babu & Dandele, P. & Chavan, S. & Achar, K. & Babu, P V. (2011). Using VLF-EM to delineate a fracture zone in basement granites for uranium exploration. *The Leading Edge.* 30. 1158-1161. 10.1190/1.3657076.
- [17] Minty, B.R.S., Luyendyk, A.P.J., & Brodie, R.C. (1997). Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2), 51-62.
- [18] Rezaei M, Ashoor M, Sarkhosh L. Airborne gamma ray spectrometry improvement using autoregressive integrated moving average model. *IJRSM.* 2018; 6 (2) :33-44
- [19] Borhani M., Ghassemian H. (2014) Novel Spatial Approaches for Classification of Hyperspectral Remotely Sensed Landscapes. In: Movaghar A., Jamzad M., Asadi H. (eds) *Artificial Intelligence and Signal Processing. AISP 2013. Communications in Computer and Information Science*, vol 427. Springer, Cham.
- [20] J. G. R. Hovgaard, "Reducing statistical noise in airborne gamma-ray data through spectral component analysis. In: Gubins, A.G. (Ed.), *Proceedings of Exploration97*," Fourth Decennial Conference on Mineral Exploration, p. pp. 753e764., 1997.
- [21] Borhani M., Ghassemian H. (2014) Kernel Grouped Multivariate Discriminant Analysis for Hyperspectral Image Classification. In: Movaghar A., Jamzad M., Asadi H. (eds) *Artificial Intelligence and Signal Processing. AISP 2013. Communications in Computer and Information Science*, vol 427. Springer, Cham
- [22] IAEA, "Airborne Gamma Ray Spectrometry Surveying,," International Atomic Energy Agency p. p. 96., 1991. Technical Reports Series No. 323. Austria, Vienna.,
- [23] M. Borhani and H. Ghassemian, "Kernel Multivariate Spectral-Spatial Analysis of Hyperspectral Data," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 8, no. 6, pp. 2418-2426, June 2015, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2399936
- [24] Mamdani, E. H., (1976), "Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers," *Int. J. Man-Mach. Stud.*, vol. 8, pp. 669–678

