

طراحی سامانه‌ی اعلام هشدار شکست سد با استفاده از رادارهای تصویربرداری SAR

مجتبی بهزاد فلاح پور: دانشجوی دکتری مهندسی برق. مخابرات. سیستم، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.
حمید دهقانی*: دانشیار، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران; Email: dehghani@mut.ac.ir
علی جبار رشیدی: دانشیار، مجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.
عباس شیخی: استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۵

چکیده

سدها یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های انرژی هستند که نقش به‌سزایی در تأمین آب یک منطقه، استان و یا کشور دارند. همچنین از منظر انرژی نیز یک نیروگاه برق آبی محسوب می‌شوند که به تولید انرژی الکتریکی از طریق انرژی پتانسیل موجود در آب پشت سد می‌پردازند. لذا از منظر مدیریت بحران، شناسایی هرگونه تخریب (ترک، شکست و ...) در بدنه‌ی سد، بسیار با اهمیت است. زیرا در نهایت، این تخریب‌ها می‌توانند منجر به شکسته شدن سد شوند و با شکسته شدن سد بحران بسیار بزرگی برای آن منطقه به وجود می‌آید. در این مقاله تلاش می‌شود تا یک سامانه‌ی اعلام هشدار تصویری با استفاده از رادار روزنه‌ی مصنوعی SAR به منظور کشف و شناسایی هرگونه تخریب در بدنه‌ی سد طراحی شود تا به این ترتیب استمرار فعالیت سد تضمین شود. سامانه‌ی طراحی شده برخلاف سامانه‌های اعلام هشدار اپتیکی به صورت شبانه‌روزی و در هر نوع شرایط آب و هوایی (مه، گرد و غبار) قادر به تصویربرداری از سد مورد نظر بوده و قادر است با مقایسه‌ی تصویر گرفته شده و تصویر ذخیره شده از سد سالم، به استخراج نواحی تخریبی در سد مورد نظر بپردازد.

واژه‌های کلیدی: سد سنگر، رادار SAR، شکست سد، سامانه‌ی اعلام هشدار

Design a Warning System for Dam Breaking Using Synthetic Aperture Radar (SAR)

Mojtaba Behzad Fallahpour¹, Hamid Dehghani^{*2}, Ali Jabbar Rashdi³, Abbas Sheikhi⁴

Abstract

Dams as one of the most important energy infrastructure have a significant role in water supply of the regions, provinces or country. Furthermore, in terms of energy, they are hydro electrical-water power stations that produce electrical energy from the potential energy from the water behind the dam. Therefore, from the perspective of emergency management, identifying any degradation (cracks, break, etc.) in the body of the dam is very important. Because ultimately, these damages can lead dam break and the breaking of a dam caused a significant crisis for the region. This paper attempts to design a warning image system using synthetic aperture radar (SAR), in order to detect any degradation in the body of the dam and thus guarantee the performance continuation of the dam. System designed unlike warning optical system capable of imaging in any weather (fog, dust, etc.) and compares the taken image and saved image from a healthy dam, to extract the degradation area in the desired dam.

Keywords: Sangar dam, synthetic aperture radar (SAR), breaching of dam, warning system

1 PhD student of Telecommunication Engineering, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

2 Associate Professor, Dept. of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran; Email: dehghani@mut.ac.ir

3 Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

4 Professor, Dept. of Electronic and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

هر گونه تغییرات ارتفاعی سد بر اثر عواملی چون زلزله، طوفان و ... و استخراج تصاویر DEM^۳ از آن به کار می‌روند. اما در این مقاله تلاش می‌شود که یک سامانه‌ی اعلام هشدار مبتنی بر یک رادار SAR که هرگونه تخریبی در بدنه‌ی سد از جمله شکستگی، خوردگی، ترک، فرورفتگی، تغییرات ارتفاعی و ... را آشکار نماید، طراحی شود لذا از این منظر سامانه‌ی پیشنهادی این مقاله بسیار جامع‌تر از دیگر سامانه‌های طراحی شده است [۲، ۳، ۴، ۵، ۶].

در این مقاله ابتدا اصول عملکرد SAR بیان می‌شود. سپس نحوه‌ی طراحی سامانه‌ی اعلام هشدار پیشنهادی ارائه می‌گردد. آنگاه شبیه‌سازی نحوه‌ی عملکرد سامانه‌ی اعلام هشدار بیان شده و در نهایت نتیجه‌گیری نهایی ارائه خواهد شد.

اصول عملکرد SAR

سامانه‌ی اعلام هشدار طراحی شده در این مقاله که در واقع بررسی سالم بودن سد را بر عهده دارد، مبتنی بر تصویربرداری بوده و با استفاده از تصاویر راداری گرفته شده و مقایسه‌ی آن‌ها با تصاویر ذخیره شده در حافظه‌ی پردازشگر، به استخراج هرگونه تخریب موجود در سد پرداخته و هشدار لازم را می‌دهد. از این رو در حفظ بقای سد، نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. از آنجایی که SAR هسته‌ی اصلی سامانه‌ی مذکور است، در ادامه به بررسی نحوه‌ی عملکرد آن پرداخته خواهد شد.

سامانه‌های تصویربرداری راداری SAR برای تصویربرداری نیاز به یک سکوی^۴ متحرک، که در یک خط راست و با سرعت ثابت حرکت می‌کند، دارند. این سکو می‌تواند هواپیما، ماهواره یا ریل متحرک باشد (تصویر ۱). مسیر حرکت SAR را سمت^۵ و فاصله‌ی بین SAR و هدف را برد^۶ می‌نامند [۷]. متداول‌ترین پالسی که در سیستم‌های SAR برای ارسال استفاده می‌شود مطابق رابطه‌ی ۱ یک چیرپ است:

$$S_{pul}(\tau) = W_r(\tau) \cos\{2\pi f_0 \tau + \pi K_r(\tau)^2\}$$

که در آن τ زمان در جهت برد، f_0 فرکانس حامل و $W_r(\tau)$ یک پنجره‌ی مستطیلی به شکل رابطه‌ی ۲ است.

$$W_r(\tau) = \text{rect}\left(\frac{\tau}{T}\right) \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

اما از آنجایی که سامانه‌ی SAR بر فراز صحنه حرکت کرده و پالس‌های متوالی را به سمت هدف ارسال و اکوی آن‌ها را ثبت می‌کند، فاصله‌ی SAR تا هدف در ضمن این حرکت تغییر می‌کند. این تغییرات تابعی از η یا زمان در جهت سمت است. به عبارت دیگر فاصله‌ی رادار تا هدف مقدار ثابت R نبوده بلکه به صورت $R(\eta)$ است. به این ترتیب سیگنال بازگشتی در دو بعد برد و سمت و برحسب τ و η مطابق رابطه‌ی ۳ بیان می‌شود:

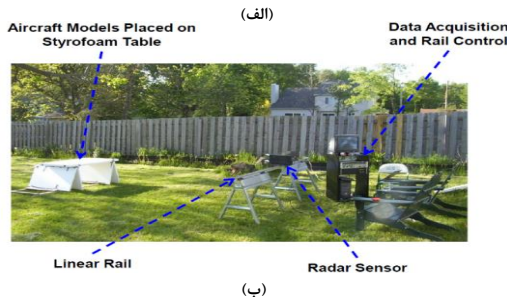
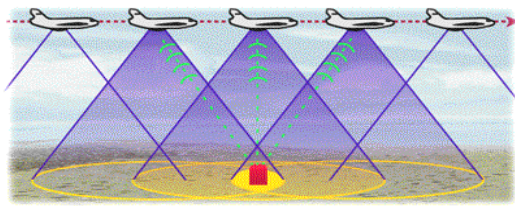
$$S_r(\tau, \eta) = A_0 W_r(\tau - 2R(\eta)/c) \times \cos\{2\pi f_0(\tau - 2R(\eta)/c) + \pi K_r(\tau - 2R(\eta)/c)^2 + \psi\}$$

در جهان امروز، سد به منزله‌ی یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های انرژی، یک نیروگاه عظیم برق آبی است که نقش به‌سزایی در تأمین آب و برق یک منطقه دارد. ذخیره‌سازی آب می‌تواند جوامع را در مقابل آثار سیلاب‌ها و خشکسالی‌های غیر منتظره حمایت کرده و مدیریت آب را برای آن‌ها فراهم سازد. همچنین برق تولید شده از طریق سد، یک منبع انرژی قابل دسترس، قابل اعتماد، مقرون به صرفه و پایدار ملی است که تنها از طریق نیروی آب جاری رودخانه‌ها و بدون هیچ وابستگی به قیمت‌های افسارگسیخته‌ی سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید.

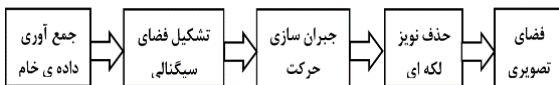
شکسته شدن، ترک برداشتن، خوردگی و در یک کلام تخریب بدنه‌ی سد که در اثر عوامل مختلفی چون زلزله، گسل، فرسودگی و ... به وجود می‌آید، می‌تواند آغازگر یک بحران بسیار بزرگ برای آن منطقه باشد. برای مثال شکسته شدن سد بتنی اوستین (Austin) در سپتامبر ۱۹۱۱ در امریکا منجر به کشته شدن ۷۸ نفر و ۸۸ میلیون دلار خسارت مالی شد. همچنین شکست سد بتنی قوسی ملپست (Malpasset) در دسامبر ۱۹۵۹ در فرانسه به دلیل لغزش بدنه‌ی سد، ۴۲۱ نفر را کشت و خسارات مالی بسیاری ایجاد کرد [۱]. بنابراین حفظ و نگهداری سد به منظور استمرار فعالیت آن از جهات مختلف اقتصادی، امنیتی، انرژی، معیشت، درآمد و ... بسیار با اهمیت است. در این مقاله برای رسیدن به این هدف، یک سامانه‌ی اعلام هشدار مبتنی بر رادار روزه مصنوعی SAR^۱ طراحی شده که ضمن رصد مداوم سد به آشکارسازی هرگونه تخریب در آن پرداخته و در نهایت هشدار لازم را به اپراتور (کارور) های انسانی می‌دهد.

نحوه‌ی عملکرد سامانه‌ی اعلام هشدار طراحی شده در این مقاله بدین ترتیب است که در آن با استفاده از سامانه‌های تصویربرداری SAR به تصویربرداری ۲۴ ساعته از سد پرداخته و با مقایسه بین تصاویر اخذ شده توسط SAR و تصویر ذخیره شده از سد سالم در اتاق کنترل (پایش)، به شناسایی هرگونه تخریب در سد می‌پردازد.

کارایی سامانه‌ی پیشنهادی این مقاله با مقایسه‌ی آن با سایر سامانه‌هایی که تاکنون برای رصد سد استفاده شده، بیشتر آشکار می‌گردد. تاکنون برای رصد سد معمولاً از سامانه‌های الکترواپتیکی و یا رادارهای روزه مصنوعی تداخل سنج^۲ استفاده شده است. کار کردن با سامانه‌های الکترواپتیکی بسیار ساده‌تر از کار کردن با سامانه‌های راداری است، اما این سامانه‌ها قابلیت تصویربرداری در شب و یا شرایط بد جوی چون مه و گرد و غبار را ندارند. برای حل این مشکل از سامانه‌های مبتنی بر رادار روزه مصنوعی استفاده می‌شود، زیرا این سامانه‌ها قابلیت تصویربرداری در هر زمان از شبانه‌روز و در هر نوع از شرایط جوی را دارند. از این رو در چند سال اخیر معمولاً از سامانه‌های اعلام هشدار مبتنی بر رادارهای روزه مصنوعی تداخل سنج استفاده شده است. رادارهای روزه مصنوعی تداخل سنج مبتنی بر دو رادار SAR بوده که با فاصله از یکدیگر قرار دارند و عمدتاً برای آشکارسازی



تصویر ۱: الف. سامانه‌ی SAR هواپایه [۵]؛ ب. سامانه‌ی SAR بر روی یک ریل متحرک [۹]



تصویر ۲: فرایند تصویربرداری در سامانه‌های SAR [۱۰]

نحوه‌ی طراحی سامانه‌ی اعلام هشدار

برای طراحی سامانه‌ی اعلام هشدار مبتنی بر رادار روزنه مصنوعی SAR، اولین چیزی که باید مشخص شود نوع سکو است. همان‌طور که در بخش قبل گفته شد، می‌توان از سکوهایی مختلفی برای تصویربرداری استفاده کرد. در این مقاله دو سکوی ریلی و هواپایه (هواپیمای بدون سرنشین یا پهپاد) [۱۳] پیشنهاد شده است. در سکوی ریلی، در طول رودخانه‌ی مورد نظر، ریل زده شده تا رادار SAR بر روی آن حرکت کند و به تصویربرداری بپردازد. در این روش تنها به تصویربرداری از سد پرداخته می‌شود و به دلیل حرکت در یک مسیر مستقیم و با سرعت ثابت نیازی به جبران‌سازی حرکت نیست. اما با سکوی پهپاد می‌توان علاوه بر تصویربرداری از خود سد، از میزان سطح آب موجود در پشت سد نیز آگاه شد، زیرا یکی از مهم‌ترین عوامل شکست سد، میزان آب موجود در پشت سد است که اگر از حد مجاز عبور کند، فشار زیادی را بر سد تحمیل کرده و ممکن است منجر به شکسته شدن آن شود. برای این منظور با چیدمان مناسبی از رفکتورها در پشت سد می‌توان از میزان آب موجود در آن مطلع شد. رفکتورها سازه‌هایی هستند که از سطح مقطع راداری بسیار بالایی برخوردارند و در تصاویر SAR کاملاً سفید دیده می‌شوند و چون آب در تصاویر SAR به صورت تیره است، می‌توانند نشانه‌های بسیار خوبی باشند (تصویر ۳) [۱۴].

بعد از سکو نوبت به تعیین مشخصات سیستمی SAR می‌رسد. این مشخصات با توجه به برخی از پارامترهای رادار و سد که از قبل معلوم هستند و در جدول ۱ نشان داده شده‌اند، در گام‌های به شرح جدول انجام می‌شود.

که در آن ψ اختلاف فازی است که در سیگنال منعکس شده به وجود می‌آید. A'_0 عددی حقیقی است که تضعیف ناشی از ضریب انعکاس هدف را مدل می‌کند و بیانگر سطح مقطع راداری σ هدف است. سطح مقطع راداری که در رادارهای SAR از اهمیت بالایی برخوردار است، خصوصیتی است که توسط آن میزان توان بازگشتی از یک هدف مشخص می‌شود. بالا بودن این خصوصیت معرف آن است که توان بیشتری از هدف به سمت رادار برگشته و آن هدف در تصویر SAR روشن‌تر دیده می‌شود.

تا اینجا مشخص شد که سامانه‌های SAR در طول حرکت خود به‌طور مکرر سیگنال را به سمت هدف مورد نظر می‌فرستند و اکوی آن را دریافت می‌کنند، که به این فرایند جمع‌آوری داده‌ی خام^۱ می‌گویند. بعد از دریافت سیگنال $S_r(\tau, \eta)$ در گیرنده، آن را به کمک دمودولاتور IQ-Demodulator به باند پایه منتقل می‌کنند و در یک آرایه‌ی دو بعدی به نام فضای سیگنالی^۲ ذخیره می‌کنند. رابطه‌ی سیگنال باند پایه به این ترتیب است:

رابطه‌ی ۴:

$$S_0(\tau, \eta) = A_0 W_r(\tau - 2R(\eta)/c) W_a(\eta - \eta_c) \times \exp\{-j4\pi f_0 R(\eta)/c\} \times \exp\{j\pi K_r(\tau - 2R(\eta)/c)^2\}$$

که در آن $A_0 = A'_0 \exp\{\psi\}$ و $W_a(\eta)$ بیانگر پهنای آنتن بر حسب η است و η_c زمانی را که در آن لحظه هدف در مرکز بیم آنتن قرار می‌گیرد نشان می‌دهد [۱۰].

فضای سیگنالی از نظر بصری اطلاعات خاصی برای کاربر ندارد و شبیه به نویز است، زیرا هنوز هیچ پردازشی بر روی آن صورت نگرفته تا بتوان تصویر هدف را از آن استخراج کرد. لذا فضای دیگری در سامانه‌های SAR تعریف می‌شود که به فضای تصویری^۳ معروف است. برای رسیدن به فضای تصویری از الگوریتم‌های تشکیل تصویر استفاده می‌شود [۱۱]. اما قبل از اعمال این الگوریتم‌ها نیاز است تا پیش‌پردازش‌های دیگری بر روی فضای سیگنالی اعمال شود که مهم‌ترین آن‌ها جبران‌سازی حرکت^۴ و حذف نویز لکه‌ای^۵ است. جبران‌سازی حرکت، زمانی لازم است که سکوی حامل SAR بر روی یک خط راست حرکت نکند. در این صورت با توجه به فازهای سیگنال بازگشتی می‌توان به تصحیح مسیر حرکت پرداخت [۱۲]. بعد از جبران‌سازی حرکت، نوبت به حذف نویز لکه‌ای می‌رسد. نویز لکه‌ای جزو جدانشدنی تصاویر SAR است که با استفاده از روش‌های مختلفی چون Multilook، Look Summation و ... قابل حذف است [۱۳].

با توجه به مطالب بیان شده، فرایند تصویربرداری SAR که از جمع‌آوری داده‌ی خام شروع شده و به تصویر SAR ختم می‌شود در بلوک دیاگرام تصویر ۲ نمایش داده شده است. تا اینجا اصول عملکرد SAR به‌منزله‌ی هسته‌ی اصلی سامانه‌ی اعلام هشدار پیشنهادی بیان شد. در ادامه نحوه‌ی عملکرد کامل سامانه‌ی اعلام هشدار به همراه جزئیات آن بیان می‌شود.

$$l = 2 R_z \quad \text{رابطه ی ۷:}$$

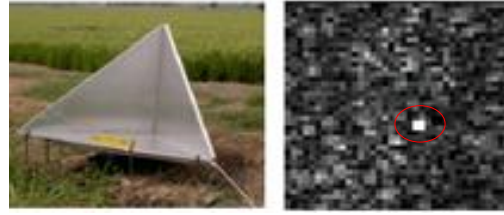
$$L_{sa} = \frac{\lambda R}{1} \quad \text{رابطه ی ۸:}$$

که در آن L_{sa} طول دهانه‌ی مصنوعی، λ طول موج ارسالی، R فاصله‌ی رادار تا سد و l طول آنتن واقعی است [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴]. میزان توان سیگنال ارسالی SAR نیز با توجه به معادله‌ی رادار تعیین می‌گردد. تا اینجا نحوه‌ی طراحی اولیه‌ی سامانه‌ی اعلام هشدار پیشنهادی بیان شده و در ادامه نحوه‌ی عملکرد این سامانه بیان خواهد شد.

سامانه‌ی اعلام هشدار پیشنهادی در این مقاله از سه بخش تشکیل شده است. بخش اخذ تصویر، بخش استخراج اطلاعات و بخش تطبیق تصویر. در بخش اخذ تصویر، با استفاده از سامانه‌ی تصویربرداری راداری SAR به تصویربرداری از سد مورد نظر پرداخته می‌شود. این بخش همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده شده است از زیربخش‌های مختلفی چون جمع‌آوری داده‌ی خام، تشکیل فضای سیگنالی، جبران‌سازی حرکت، حذف نویز لکه‌ای و تشکیل فضای تصویری تشکیل شده است که از این میان جمع‌آوری داده‌ی خام و تشکیل فضای سیگنالی در خود سامانه‌ی SAR و بقیه در اتاق پایش انجام می‌شود. خروجی این بخش تصویر راداری SAR از سد مورد نظر است.

در بخش بعد نوبت به استخراج اطلاعات از تصاویر SAR می‌رسد؛ چون همان‌طور که در بخش قبل گفته شد می‌توان با استفاده از تصاویر SAR از میزان عمق آب پشت سد نیز مطلع شد. البته در بخش استخراج اطلاعات، اطلاعات مفیدتر دیگری چون آلودگی آب و ... را نیز می‌توان از تصاویر SAR استخراج کرد ولی چون هدف مقاله طراحی سامانه‌ی اعلام هشدار است تنها به اطلاعات مربوط به این سامانه اکتفا می‌شود.

در نهایت در بخش سوم نوبت به تطبیق تصویر استخراج شده با تصاویر ذخیره شده در حافظه‌ی پردازشگر موجود در اتاق پایش می‌رسد که برای این منظور از روش‌های مختلفی چون MSE^{15} ، NCC^{16} و ... استفاده می‌گردد. بدین ترتیب اگر تصویر اخذ شده و تصویر مبنا، تطبیق خوبی داشته باشند به منزله‌ی این است که هیچ‌گونه آثاری از تخریب در بدنه‌ی سد مشاهده نمی‌شود و سامانه‌ی اعلام هشدار هیچ‌گونه اعلام خطایی نمی‌کند و شرایط عادی است. اما اگر دو تصویر تطبیق خوبی نداشته باشند،



(الف)



(ب)

تصویر ۳: الف. اثر فلکتور در تصاویر SAR که به صورت کاملاً سفید ظاهر می‌شود (سطح مقطع راداری بالا)؛ ب. رودخانه در تصاویر SAR که به صورت تیره مشاهده می‌شود (سطح مقطع راداری پایین) [۱۴]

جدول ۱: پارمترهای معلوم در طراحی سیستمی سامانه‌ی اعلام هشدار

مقادیر	پارامترها
R_R	قدرت تفکیک ^{۱۴} رادار در جهت برد
R_z	قدرت تفکیک رادار در جهت سمت
$a*b*c$	ابعاد سد (طول و عرض و ارتفاع)
f_0	فرکانس حامل

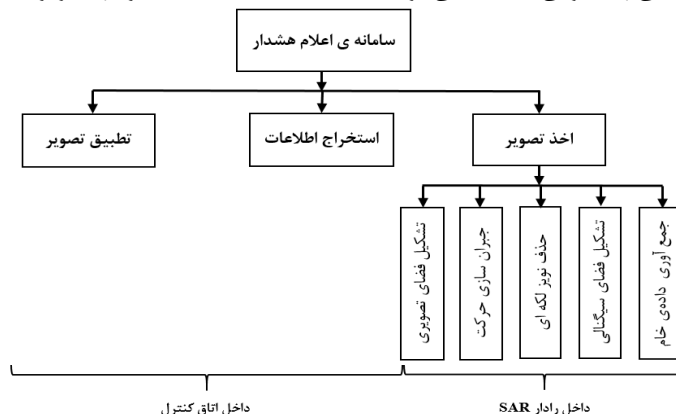
ابتدا با توجه به قدرت تفکیک رادار در جهت برد مقدار پهنای باند از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید.

$$B\omega = \frac{c}{2 R_R} \quad \text{رابطه ی ۵:}$$

که در آن C سرعت انتشار امواج در فضا است. سپس با استفاده از شرط نایکوئیست و ابعاد سد تعداد نمونه‌ها در جهت برد مطابق رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌گردد.

$$N_T \geq 2B\omega \quad \text{رابطه ی ۶:}$$

همچنین با استفاده از قدرت تفکیک رادار و با توجه به رابطه‌ی ۷ و ۸ طول دهانه‌ی واقعی و مصنوعی محاسبه می‌شود.



تصویر ۴: بخش‌های مختلف سامانه‌ی اعلام هشدار پیشنهادی

سامانه‌ی اعلام هشدار اعلام خطا کرده و باید فوراً منطقه‌ای از تصویر که تطبیق خوبی نداشته است مورد مشاهده و بررسی مأموران قرار گیرد. با توجه به مطالب بالا طراحی سیستم اعلام هشدار پیشنهادی به پایان رسید و در ادامه به شبیه‌سازی آن پرداخته می‌شود.

شبیه‌سازی نحوه‌ی عملکرد سامانه‌ی اعلام هشدار

در این قسمت نحوه‌ی عملکرد سامانه‌ی اعلام هشدار پیشنهادی در این مقاله با سکوی ریلی شبیه‌سازی می‌گردد. در شبیه‌سازی اول، تصویر راداری یک سد سالم و بدون هیچ‌گونه تخریب ایجاد می‌گردد. سپس تصویر همان سد به همراه یک تخریب کوچک در بدنه‌ی آن استخراج می‌شود و در نهایت با مقایسه‌ی بین تصویر سد سالم و سد تخریب‌دار به استخراج محل تخریب پرداخته خواهد شد. اما برای اینکه شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مقاله، به واقعیت نزدیک‌تر باشد از شرایط واقعی استفاده شده است. برای این منظور سد سنگر واقع در استان گیلان و شهر رشت به منزله‌ی سد مورد مطالعه انتخاب شده و برای تصویربرداری نیز از مشخصات ماهواره‌ی RADARSAT ساخت کشور کانادا استفاده شده است.

شکل‌های ایتیکی سد سنگر در تصویر ۵ نشان داده شده است. این سد بر روی رودخانه‌ی سفیدرود در سال ۱۳۴۶ احداث شده و قسمت عمده‌ی آب سفیدرود را برای آبیاری شالیزارهای اراضی جلگه‌ای در دو کانال اصلی سمت راست و چپ تقسیم می‌نماید. کانال سمت چپ (غرب گیلان) به طول ۳۰ کیلومتر تا اراضی فومنات و کانال سمت راست (شرق گیلان) به طول ۲۶ کیلومتر



(الف)



(ب)



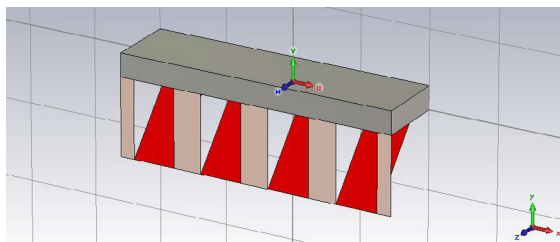
(ج)

تصویر ۵: الف و ب. سد سنگر واقع در استان گیلان - شهر رشت؛ ج. تصویر سد سنگر با Google Earth

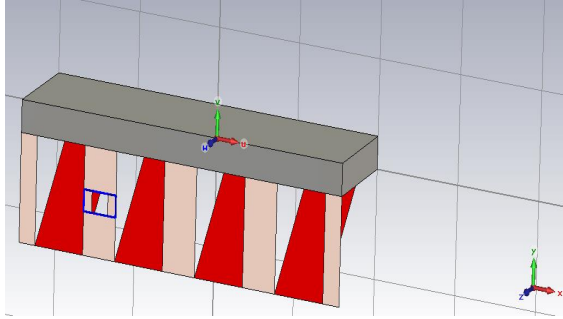
تا شهر لنگرود ادامه دارد. در این مقاله برای شبیه‌سازی قسمت اخذ تصویر از ترکیب دو نرم‌افزار CST و MATLAB استفاده شده است. به گونه‌ای که گام جمع‌آوری داده‌ی خام در نرم‌افزار CST و گام‌های مربوط به تشکیل فضای سیگنالی، جبران‌سازی حرکت، حذف نویز لکه‌ای و تشکیل فضای تصویری در نرم‌افزار MATLAB انجام می‌شود.

گام جمع‌آوری داده‌ی خام گلوگاه اصلی این شبیه‌سازی است، زیرا علاوه بر ایجاد شکل مناسبی از سد باید جنس و ابعاد آن نیز متناسب با سد مورد نظر باشد. برای این منظور هم می‌توان از نرم‌افزارهایی چون اتوکد (Autocad) استفاده کرد و هم از قابلیت‌های موجود در نرم‌افزار CST بهره برد. در این مقاله با تلاش بسیار با استفاده از نرم‌افزار CST الگوی نهایی سد سنگر به صورت تصویر ۶ در محیط نرم‌افزار CST ایجاد شد. به طوری که جنس ستون‌ها از سیمان و جنس درپچه‌ها از آهن در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به اینکه انجام شبیه‌سازی‌ها در ابعاد واقعی سد ممکن نبوده و به زمان و حجم حافظه‌ی بسیار زیادی نیاز دارد، با تغییر مقیاس، الگوی در نظر گرفته شده چهار متر طول و یک متر عرض دارد. بعد از ایجاد الگوی سد در نرم‌افزار CST نوبت به ایجاد سیگنال ارسالی رادار SAR در این نرم‌افزار و ارسال آن در موقعیت‌های مختلف سمت، به سوی سد می‌رسد. برای این کار با استفاده از مشخصات سامانه RADARSAT، این سیگنال در نرم‌افزار CST ساخته شده و به سمت سد ارسال می‌شود. در اینجا فرض شده است که سکوی ریلی در جلوی سد تعبیه شده و رادار SAR موج را با زاویه‌ی فرود ۸۰ درجه به سمت سد می‌تاباند. سپس اکوی آن در هر موقعیت از سمت دریافت شده و در حافظه ذخیره می‌گردد. با انتقال دامنه و فاز اکوی بازگشتی به محیط نرم‌افزاری MATLAB فضای سیگنالی ناشی از سد سنگر ایجاد می‌شود و در نهایت با ارسال این فضای سیگنالی به اتاق پایش و استفاده از الگوریتم‌های تشکیل تصویر، فضای تصویری آن به وجود خواهد آمد. تصویر ۷ فضای تصویری ناشی از سد سنگر از منظر سامانه‌ی RADARSAT را نشان می‌دهد.

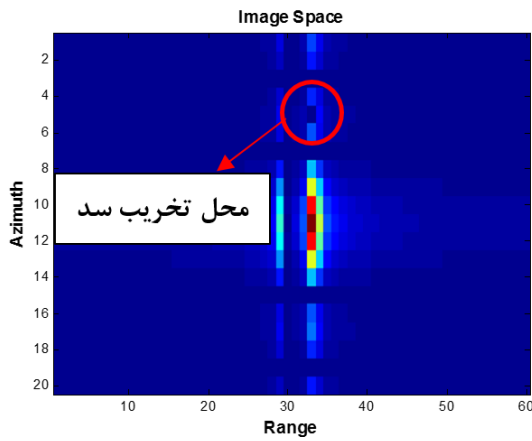
تا اینجا فضای تصویری سد سنگر در حالت سالم و بدون تخریب با استفاده از مشخصات RADARSAT به دست آمد. این تصویر را می‌توان به عنوان تصویر مبنا در حافظه‌ی پردازشگر موجود در اتاق کنترل ذخیره کرد و سایر تصاویری که از سد گرفته می‌شود را با آن مقایسه نمود. لذا در شبیه‌سازی دوم، مطابق تصویر ۸ به ایجاد یک سازه‌ی تخریبی از سد سنگر در محیط نرم‌افزاری CST پرداخته می‌شود و سپس فضای تصویری آن مطابق تصویر ۹ استخراج می‌گردد.



تصویر ۶: ایجاد الگوی سه بعدی از سد سنگر در محیط نرم‌افزاری CST



تصویر ۸: الگوی سد به همراه تخریبی در ستون آن



تصویر ۱۰: استخراج محل تخریب

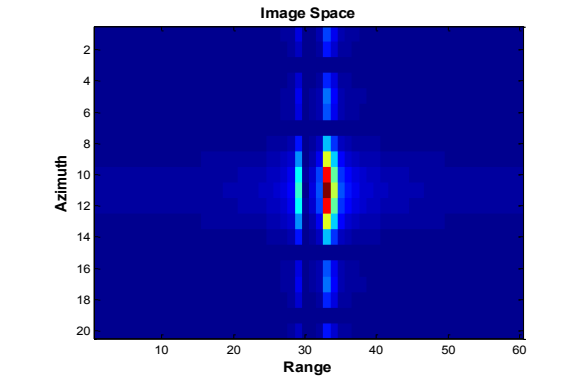
بین تصویر گرفته شده از یک سد سالم و سد همراه تخریب، محل تخریب شناسایی گردید و هشدار لازم داده شد.

پی نوشت

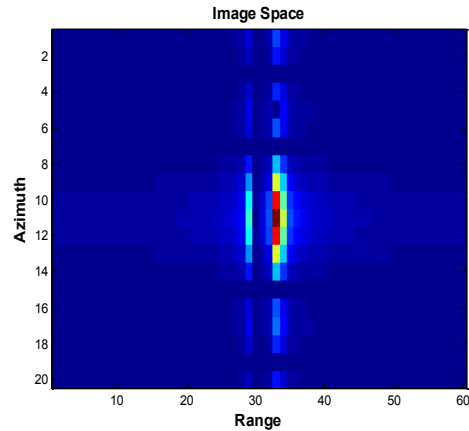
1. Synthetic Aperture Radar (SAR)
2. Interferometric SAR (INSAR)
3. Digital Elevation Model (DEM)
4. Platform
5. Azimuth
6. Range
7. Raw Data Acquisition
8. Radar Cross Section (RCS)
9. Signal Space
10. Image Space
11. Motion Compensation
12. Speckle Noise
13. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
14. Resolution
15. Mean Square Error
16. Normal Cross Correlation

منابع

۱. وکیلی، عبدالله؛ شاکری، اقبال (۱۳۹۲). آسیب شناسی قراردادهای طرح و ساخت در طرح های زیربنایی کشور، مطالعه ی موردی پروژه های سد سازی. هفتمین کنگره ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۲. دهقانی، حمید؛ ریوندی، علی؛ بهزاد فلاح پور، مجتبی؛ موسی زاده، کیومرث (۱۳۹۲). مدل سازی عملکرد سامانه های تصویربرداری SAR. مجله ی علمی پژوهشی علوم و فناوری فضایی، جلد ۶، شماره ی ۱، ۴۷-۵۶.
۳. دهقانی، حمید؛ موسی زاده، کیومرث (۱۳۹۲). ایجاد اختلال در تصویربرداری SAR با استفاده از رفلکتورها. مجله ی علمی پژوهشی پدافند غیرعامل دانشگاه امام حسین (ع)، شماره ی ۴، ۲۳۹-۲۴۶.



تصویر ۷: فضای تصویری ناشی از سد با استفاده از مشخصات ماهواره RADARSAT



تصویر ۹: فضای تصویری ناشی از سد تخریبی

پس از استخراج تصویر ۹ نوبت به تطبیق بین تصاویر ۷ و ۹ می رسد. برای این کار از روش های پردازش تصویر استفاده می شود و در نهایت محل تخریب همانند تصویر ۱۰ شناسایی می گردد و بدین ترتیب این امکان به وجود می آید تا با استفاده از سامانه ی اعلام هشدار پیشنهادی در این مقاله به شناسایی نواحی تخریب در سد پرداخته و اقدامات لازم برای رفع آن انجام شود. با این شبیه سازی ضمن بیان نحوه ی عملکرد سامانه ی مذکور، کارایی آن در اعلام هشدار به گروه های رصد سد نیز تأیید می شود.

نتیجه گیری

در این مقاله یک سامانه ی اعلام هشدار شکست سد با استفاده از سامانه ی تصویربرداری SAR طراحی گردید. از جمله ویژگی های مهم این سامانه قابلیت کار در تمامی شرایط آب و هوایی و در هر زمان از شبانه روز بوده در حالی که سامانه های الکترواپتیکی و مادون قرمز در شرایط آب و هوایی نامساعد چون مه، گرد و غبار و رطوبت و همچنین در زمان شب قابلیت کار ندارند. به علاوه این سامانه به علت فعال بودن قابلیت استفاده از طول موج هایی که توانایی نفوذ در آب را دارند نیز دارا است و بدین ترتیب قابلیت تصویربرداری از نواحی ای از سد که در زیر آب هستند نیز به وجود می آید. در این مقاله، برای تأیید کارایی سامانه ی مذکور در اعلام هشدار به گروه های رصد سد، به شبیه سازی نحوه ی عملکرد آن با استفاده از دو نرم افزار CST و MATLAB پرداخته شد و با تطبیق



4. L. A. Ribeiro, J. B. Rosolem, D. C. Dini, C. Florida, C. A. Hortencio, E. F. da Costa, E. W. Bezerra, R. B. de Oliveira, M. D. Loichate, A. S. Durelli (2011). Fiber optic bending loss sensor for application on monitoring of embankment dams. *IEEE International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*, 637 – 641.
5. M. Voegelé, R. Frauenfelder, Y. Larsen (2012). 6uz Displacement monitoring at Svartevatn dam with interferometric SAR. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3895 – 3898.
6. G. Vasile, D. Boldo, R. Boudon, G. d'Urso, R. Muja (2012). Potential of multipass very high resolution SAR interferometry for dam monitoring. *IEEE 9th International Conference on communications (COMM)*, 371 – 374.
7. J. A. Richards (2009). *Remote Sensing with Imaging Radar*. 1st edition, New York, Springer.
8. M. Schlutz (2009). Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements For the degree of Master of Science in Electrical Engineering In the graduate division Of the California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
9. Gregory L. Charvat (2011). Synthetic Aperture Radar (SAR) Imaging using the MIT IAP 2011 Laptop Based Radar, Presented at the 2011 MIT Independent Activities Period (IAP).
10. I. G. Cumming and F.H. Wong (2006). *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*. 1st edition, Artech House, London.
11. W. L. Melvin, J. A. Scheer (2013). *Principles of Modern Radar*. SciTech.
12. Ze Yu, Shusen Wang, Zhou Li (2016). An Imaging Compensation Algorithm for Space borne High-Resolution SAR Based on a Continuous Tangent Motion Model. *remote sensing journal*.
13. R. Sunil1, A. Sarada and Ch. Pulla Rao (2016). Noise Reduction in SAR Images by Using Fusion of Stationary and Discrete Wavelet Transformation. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, Volume 5, Issue 2, February.
14. X. J. Shan, J. Y. Yin, D. L. Yu, C.F. Li, J.J. Zhao, G.F. Zhang (2013). Analysis of artificial corner reflector's radar cross section: a physical optics perspective. *Springer Journal*, pp. 2755–2765.