

بررسی تغییر فرم سازند گچساران در محدوده سد گتوند علیا با استفاده از داده‌های سنجش از دور راداری

اکبر هاشمی فرد

دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پرویز کردوانی*

استاد گروه جغرافیای طبیعی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

فریده اسدیان

استادیار گروه جغرافیای طبیعی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵

چکیده

سدهای بزرگ معمولاً به صورت چند منظوره و با اهدافی چون ذخیره آب برای فصول کم آبی، کنترل سیلاب، تولید انرژی و استفاده تفریحی ساخته می‌شوند. با استفاده از تکنیک اینترفرومتری، امکان نمایش تغییر شکل‌های آهسته پویسته زمین در طول نشست و نیز تحت شرایط خاص وجود دارد. سد گتوند علیا بر روی قسمتی از سازند گچساران قرار گرفته است، در این پژوهش قسمتی از این سازند، در محدوده مخزن سد گتوند علیا که در اثر انحلال دچار فرونشست و لغزش شده است، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری مورد بررسی و پردازش قرار گرفته است. جهت انجام این پژوهش، یک جفت تصویر ماهواره Cosmo Sky – Med باند X به فاصله زمانی دو سال تهیه و پردازش گردید. نتایج تداخل نگار به دست آمده در این پژوهش حداکثر نرخ فرونشست را در سازند گچساران و در محدوده معدن نمک عنبل، به میزان ۵۳ سانتی‌متر نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: تغییر فرم، سازند گچساران، سنجش از دور، اینترفرومتری، گتوند علیا.

مقدمه

اهمیت سد و سدسازی بر کسی پوشیده نیست. طی هزاران سال مردمان سرزمین‌های مختلف به منظور مهار آب‌ها و تأمین آب آشامیدنی، آبیاری کشاورزی و اخیراً آب مورد نیاز صنایع به احداث سد پرداخته‌اند. طی دهه ۱۹۵۰ میلادی، هم‌زمان با گسترش جمعیت و رشد فعالیت‌های اقتصادی، سدها به عنوان ابزاری مناسب برای پاسخگویی به نیازهای آبی و تأمین انرژی مورد توجه قرار گرفته و از آن پس، لااقل ۴۵۰۰۰ سد بزرگ در کشورهای مختلف احداث شده است.

هم‌اکنون تقریباً نیمی از رودخانه‌های جهان حداقل دارای یک سد بزرگ هستند. نحوه احداث و پیامدهای اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی سدها به صورت مسئله‌ای جهانی و در محافل بین‌المللی مطرح شده است، که اثربخشی سدها بر جوامع و آبادی‌های مجاور، نحوه معیشت مردمان و ساکنان حوزه‌های پیرامونی و نیز اکوسیستم‌ها از این‌گونه مسائل به شمار می‌رود (رحمتی، ۱۳۸۹، ۷۵).

سدهای بزرگ معمولاً به صورت چندمنظوره و با اهدافی چون ذخیره آب برای فصول کم آب، کنترل سیلاب، تولید انرژی و استفاده تفریحی ساخته می‌شوند. سرزمین پهناور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و توزیع ناموزون جریان‌های سطحی محدودیت‌های عمده‌ای را در امر استفاده بهینه از این عنصر حیاتی به وجود آورده است. ضرورت تأمین آب از یک طرف و تغییراتی که سدها بر محیط اطراف دارند از طرف دیگر توجه به اثرات زیست‌محیطی و اقلیمی طرح‌های سدسازی را الزامی می‌کند (نجمایی، ۱۳۸۲، ۱۲۰).

در زمینه تأثیرات مخازن آبی دریاچه‌ها و سدها و همچنین پردازش تصاویر ماهواره‌ای زمین‌لغزش‌ها و فرونشست‌ها پژوهش‌های پراکنده‌ای در گوشه و کنار ایران و دیگر کشورها صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

حقیقت مهر و همکاران ۱۳۸۹، از تکنیک تداخل سنجی راداری برای تعیین نرخ فرونشست و لند اسلایدهای دشت هشتگرد، با استفاده از ۴ تصویر راداری ENVISAT، در بازه زمانی ۴ ماهه (۱۱ جولای ۲۰۰۸ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸)، بیشینه مقدار نرخ فرونشست را در این دشت ۳۵ میلی‌متر در ماه به دست آوردند. جنت و همکاران در سال ۱۳۸۸، از روش تداخل سنجی راداری برای مشخص کردن تغییر شکل سطح زمین در دشت گلپایگان استفاده نمودند و حداکثر جابجایی عمودی در اثر فرونشست با استفاده از روش تداخل سنجی رادار و داده‌های ماهواره‌ای ENVISAT در بازه زمانی هفت و ده ماهه در این منطقه محاسبه شد. با استفاده از این روش میزان جابجایی عمودی در قسمت‌های مختلف سیگنال فرونشست متفاوت بوده و حداکثر میزان آن در این دو بازه زمانی ۱۹ و ۱۲ سانتی‌متر به دست آمد. داموا-افاری و همکاران سال (۲۰۰۸)، از روش DIn SAR با داده‌های ماهواره JERS1 در باند L برای شانگهای استفاده کردند اینترفروگرام‌های تفاضلی ایجاد شده از داده‌های L باند JERS1 میزان فرونشست را با دقت بیشتری نشان داد، و نتایج به دست آمده از PS In SAR با وجود داشتن نویز، نتایج به دست آمده از DIn SAR را تأیید نمودند. سیگنا و همکاران در سال ۲۰۱۲، ۲۳ تصویر راداری ENVISAT را با روش اینترفرومتری (In SAR) و تکنیک‌های اینترفرومتری پراکنده ساز مداوم، برای بررسی الگوی مکانی و زمانی فرونشست زمین در موریلیا، مکزیک پردازش نمودند. مناطق فرونشست به صورت الگوهای دایره‌ای متمرکز شده ناشی از استخراج شدید آب‌های زیرزمینی با حداکثر تغییر شکل ۸-۷ سانتی‌متر در سال توزیع شده بودند. از دیگر پژوهش‌های که زمین‌لغزش و تغییر فرم سازند را به عنوان یکی از پیامدهای احداث سدها مطالعه کرده‌اند می‌توان موارد زیر اشاره کرد: سد خاکی مسجدسلیمان (داودی و جواهری، ۲۰۰۸)، حوضه آبریز سد شیرین دره (احمدیان مقدم و دیگران، ۲۰۱۴)، سد و نیار تبریز (آذرمی عرب شاه و دیگران، ۲۰۱۱)، سد بیدواز اسفراین (صفرپور و دیگران، ۲۰۱۵) حوضه آبخیز کارون بزرگ یمانی و همکاران، ۱۳۸۹)

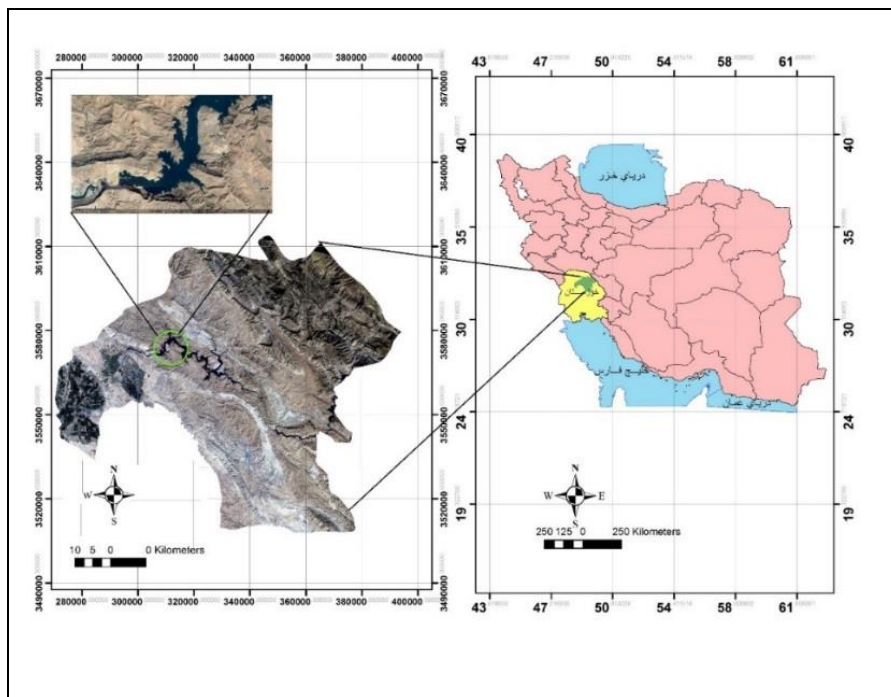
به طور کلی سد، جزئی از مدیریت منابع آب یکی از مهم ترین سازه‌هایی است که در تنظیم جریان‌های سطحی به‌ویژه در مناطقی که دارای توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارش باشد، نقش عمده‌ای ایفا می‌کند.

سد گتوند علیا پایین‌دست‌ترین سد بزرگ ساخته شده بر روی رودخانه کارون، قبل از ورود به جلگه خوزستان، در منطقه گتوند است، و در بالادست آن به ترتیب سدهای گدارلندر (مسجدسلیمان)، شهید عباسپور (کارون ۱)، کارون ۳ و کارون ۴ ساخته شده و سدهای دیگری در دست مطالعه یا اجرا می‌باشند. سازندهای زمین‌شناسی و واحدهای سنگی مختلف با ویژگی‌های سنگ‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی متفاوت، در مواجهه با آب رفتار متفاوتی از خود نشان داده و مطالعه دقیق آن‌ها ضروری است. یکی از سازندهایی که رودخانه کارون در محدوده حد فاصل سد گدار/ مسجدسلیمان تا سد تنظیمی گتوند از آن عبور کرده و محدوده مخزن سد گتوند علیا را احاطه کرده است، سازند گچساران می‌باشد. به علت وجود نمک در این سازند، کیفیت آب رودخانه و مخزن متأثر از آن است. متأسفانه مشکل سازند نمکی در محدوده مخزن سد گتوند و شوری آب در مخزن یک واقعیت است که نباید کتمان شود و به‌عنوان تهدیدی برای کل مخزن و آب رودخانه کارون به حساب می‌آید. با بررسی عکس‌های هوایی و همچنین بازدیدهای میدانی که از سازند گچساران در محدوده سد به عمل آمد شاهد تغییرات قابل توجهی در شکل و توپوگرافی سازند مذکور بوده‌ایم. پس از آبرگیری سد گتوند علیا در سال ۲۰۱۱ میلادی، قسمت‌هایی از این سازند که در پیرامون دریاچه سد و یا مستقیماً با آب دریاچه در ارتباط بودند بر اثر انحلال دچار فرونشست و لغزش شدند. تلفیق دو تکنیک GIS و RS در برآورد حجم و جهت جابه‌جایی و تغییر شکل پوسته زمین مزایای زیادی داشته و از جمله حساسیت بالا به تغییرات دینامیکی، قدرت تفکیک مکانی مناسب و پوشش وسیع، پهنه‌بندی و تحلیل فضایی فرونشست‌ها. از آنجایی که روش تداخل سنجی راداری در زمینه اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین کارایی در خور تحسینی دارد و یک تکنیک ژئودتیک مؤثر و نسبتاً جدید اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با دقتی در مقیاس سانتی‌متر محسوب می‌شود، هدف از این پژوهش آشکارسازی جابجایی زمین در محدوده سازندهای دچار انحلال شده اطراف دریاچه سد گتوند علیا، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در شمال استان خوزستان (جنوب غربی ایران) و در ۲۸ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر و ۱۱ کیلومتری بالادست سد تنظیمی گتوند قرار دارد. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی مطابق نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰، در بین عرض‌های شمالی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه و همچنین ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی قرار می‌گیرد (شکل ۱).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در محدوده سد گتوند علیا

سازند گچساران

سازند تبخیری گچساران (Gs)، پوشش سنگ میدان‌های نفتی آسماری، نخستین گروه سازند فارس است که در مناطق لرستان تا حوضه خلیج فارس گسترش دارد. سازند گچساران که نام آن از میدان نفتی گچساران با همین نام گرفته شده است، و یکی از سازندهای تبخیری زاگرس در جنوب و جنوب غربی کشور گسترش زیادی دارد. این سازند قبلاً به نام فارس پائینی و یا سری شیمبایی، تبخیری فارس پائینی مشهور بوده در خلیج فارس به گروه ژپس پائینی نیز مشهور بوده است. سازند گچساران به علت داشتن خواص پلاستیکی و قابلیت تحرک که معلول خواص ویژه ژپس و نمک است، در مقابل تنش‌های زمین ساختی عکس‌العمل شدیدی از خود نشان داده که اغلب به هم زدن توالی طبقات، جمع شدگی، نازک شدگی، تزریق در لایه‌های فوقانی و ... را سبب می‌شود. سن سازند گچساران، در دوره میوسن پائینی، حدود ۲۶ میلیون سال قبل تخمین زده می‌شود (آقا نباتی، ۱۳۸۵، ۴۵).

سد گتوند بر روی قسمتی از این سازند قرار گرفته است، که موجب شور شدن آب ورودی به این سد می‌شود شکل

(۲).

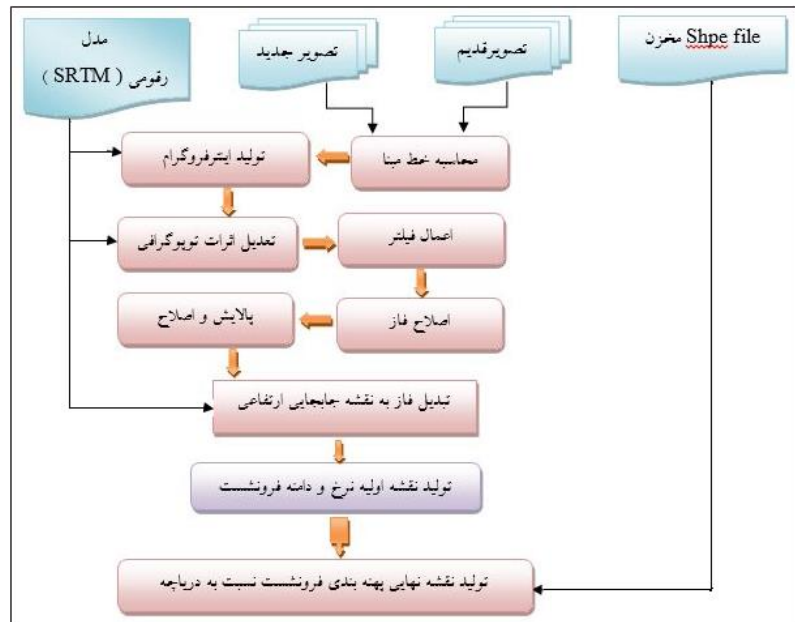


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: موقعیت سازند گچساران در اطراف سد گتوند علیا با دایره قرمز مشخص شده است.

روش پژوهش و داده‌ها

در این پژوهش از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری ((DIn SAR به منظور به تصویر کشیدن محدوده فرونشست و بررسی تغییرات زمانی کوتاه مدت و بلندمدت این حادثه کمک گرفته شده است. جهت انجام پردازش تداخل سنجی تفاضلی راداری، یک جفت تصویر ماهواره Cosmo Sky – Med باند X مربوط به فاصله زمانی مهر و موم‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ در قالب طرح پژوهشی از مرکز فضایی اروپا با گستره 100×100 کیلومتر مربع اخذ شد. از پردازش تصاویر با اختلاف زمانی دوساله، یک اینترفروگرام مستقل حاصل شد. به منظور حذف اثر توپوگرافی از اینترفروگرام به دست آمده، از SRTM DEM منطقه، با قدرت تفکیک ۱۰ متر استفاده شد. به دلیل حساسیت رودخانه کارون، یکی از شریان‌های حیاتی، که از جلگه خوزستان عبور می‌کند با استفاده از نقشه جابجایی به دست آمده میزان فرونشست و تغییر شکل سازند گچساران در محدوده مخزن سد گتوند علیا محاسبه و در نهایت تصویر پهنه‌بندی خطر فرونشست نسبت به دریاچه سد تهیه گردید. در شکل (۳) مدل مفهومی مراحل انجام پژوهش نشان داده شده است.



مأخذ: نگارندگان

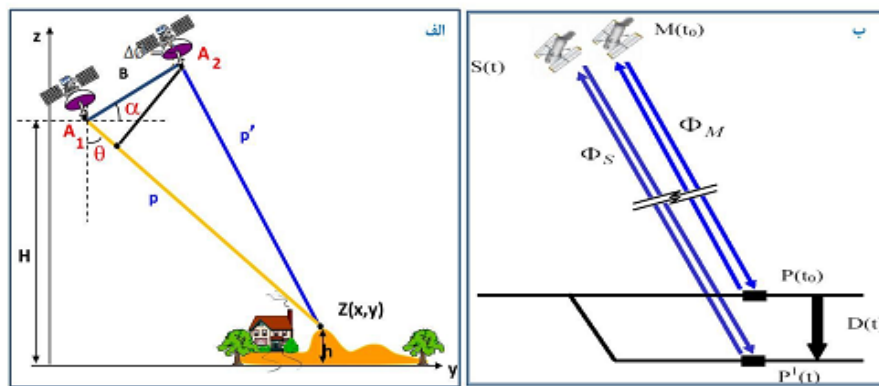
شکل ۳: مدل مفهومی مراحل پژوهش

تکنیک اینترفرومتری^۱

تکنیک اینترفرومتری (تداخل سنجی) مزایای زیادی در اندازه‌گیری و نمایش جابه‌جایی‌های پوسته زمین دارد. از جمله حساسیت بالا به تغییرات دینامیکی، قدرت تفکیک مکانی بالا و پوشش وسیع از مزایای این روش است. با استفاده از چند تصویر SAR از تغییرات دینامیک یک منطقه، می‌توان اینترفروگرام تغییرات را با دقتی در حدود میلی‌متر به دست آورد. علاوه بر اینکه به کمک این روش می‌توان جابه‌جایی‌های قائم و افقی بعد از نشست زمین و همچنین زمین‌لغزش‌ها را محاسبه کرد، امکان نمایش تغییر شکل‌های آهسته پوسته زمین در طول نشست نیز تحت شرایط خاص وجود دارد. در تداخل سنجی راداری، فاز حاصل از دو تصویر گرفته شده از یک منطقه معین جهت تولید تداخل نگار دخالت داده می‌شود. در واقع تداخل نگار حاصل ضرب مختلط دو تصویر راداری است. اختلاف فاز موجود در دو تصویر به صورت فرینچ در تداخل نگار نمایش داده شده که هر فرینچ مشاهده شده اختلاف‌فازی به میزان 2π را نشان می‌دهد. اینترفروگرام تهیه شده به روش In SAR قابلیت نمایش تغییرات ارتفاعی و ناهمواری‌ها را دارد.

$$Z(x, y) = H - \frac{B^2 - (\lambda \Delta \theta)^2}{2(\lambda \Delta \theta - \sin(\alpha - \theta))} \cos \theta \quad (\text{Richards, 2005}) \quad (1)$$

روش تداخل سنجی راداری در زمینه اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین کارایی در خور تحسینی دارد. اصول بنیادین نحوه اندازه‌گیری این تغییرات در شکل شماره (۴) نمایش داده شده است.



منبع: (شریفی کیا، ۱۳۹۰)

شکل ۴: الف- هندسه روش تداخل سنجی، ب- روش تداخل سنجی تفاضلی برای اندازه‌گیری فرونشست محدوده مورد مطالعه.

در این شکل P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست این فضا را در زمان t_0 ثبت و مقدار آن را اندازه‌گیری می‌کند (Φ_m). مقدار نشست، فاصله P تا P1 است که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (D_t). برای اندازه‌گیری این مقدار، سنجنده تصویر دومی در زمان t و با هندسه‌ای کاملاً شبیه به تصویر نخست اخذ کرده، مقدار فاز را بر روی آن اندازه‌گیری می‌کند (Φ_s). روش تداخل سنجی تفاضلی، تفاضل فاز Φ_m و Φ_s را در فرم تداخل نگار (اینترفروگرام) فازی نمایش می‌دهد ($\Delta\Phi_{int}$). در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر (SP-MP) ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده است و مقدار آن به کمک رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta\Phi_{int} = 4\pi \frac{SP-PM}{\lambda} \quad (2)$$

در اندازه‌گیری مقدار فرونشست به کمک این روش، سطح ناپایدار تصور شده: به طوری که سطح از P به P1 تنزل یافته است. تعیین مقدار نشست در فاصله زمانی دو تصویر (D_t) تابع اختلاف فاز دو تصویر ($\Delta\Phi_{int}$) به همراه فاز ناشی از اثر توپوگرافی (Φ_{top}) و فاز ناشی از جابه‌جایی سطح (Φ_{Mov}) و همچنین فاز ناشی از اثر اتمسفر (Φ_{Atm}) خواهد بود (Zebker et al., 1994).

$$\Delta\Phi_{int} = 4\pi \frac{SP-PM}{\lambda} = \Phi_{top} + \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} \quad (3)$$

اساس اینترفرومتری SAR برای اندازه‌گیری اختلاف فاصله بین سنجنده و زمین، تفسیر اختلاف فاز است. جهت انجام پردازش تداخل سنجی تفاضلی راداری، یک جفت تصویر ماهواره Cosmo Sky-Med به فاصله زمانی دو سال تهیه و پردازش گردید. مشخصات داده‌های پایه^۲ و پیرو^۳ و همچنین تداخل نگار تهیه‌شده بر طبق جدول زیر است.

2 Master

3 Slave

جدول ۱: مشخصات داده‌های راداری مورد استفاده در این پژوهش

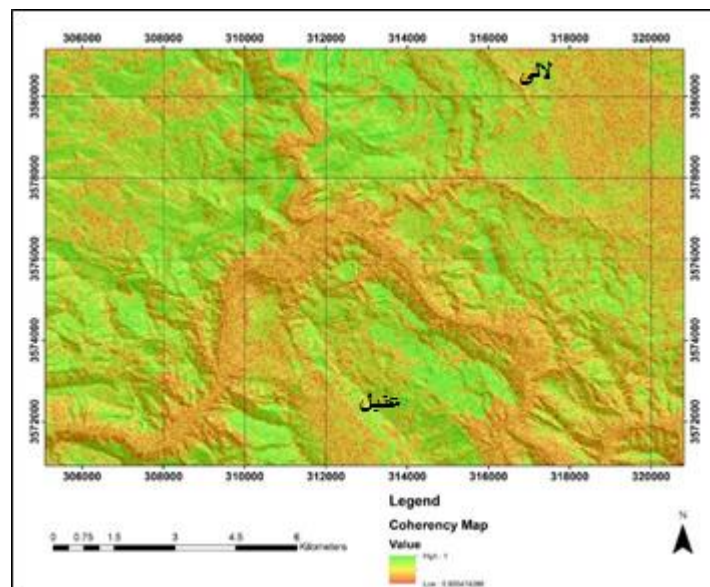
Date	Polarization	Mode	Spatial Baseline (m)	Temporal Baseline (Day)	Satellite Number	Wavelength (mm)
۲۰۱۱/۰۷/۱۸	HH	HIMAGE	-۸۹/۹۱۹	۷۲۸	۱	۳۲
۲۰۱۳/۰۷/۱۵	HH	HIMAGE			۲	۳۲

مأخذ: نگارندگان

نتایج و بحث

بررسی هم‌دوسی فازهای بین دو تصویر^۴

هم‌دوسی بین فازهای دو تصویر SAR نشان‌دهنده میزان همبستگی و تطابق فازها در دو زمان مختلف از نقطه‌ای ثابت است. این مقدار با تغییرات شرایط اتمسفری و پوشش سطحی زمین به شدت مورد اغتشاش قرار گرفته و کاهش می‌یابد. از آنجایی که تصاویر مورد استفاده در این پژوهش هر دو در فصل تابستان و تیرماه برداشت شده‌اند (شرایط جوی از لحاظ رطوبت و ابر مناسب بوده است)، نتایج هم‌دوسی بین فازهای تصاویر مورد استفاده در منطقه گتوند مطابق شکل (۵) می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نقشه هم‌دوسی بین فازها در تصاویر محدوده سد گتوند علیا

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، در نقاطی که دریاچه سد آبیگری شده و یا سازند گچساران موجود بوده است، فازهای تصاویر s و m دچار ناهم‌دوسی^۵ شده است. این ناهم‌دوسی نتیجه خاصیت بازگشتی امواج ضعیف آب دریاچه و یا تغییرات ایجاد شده در سازند گچساران می‌باشد. همچنین موقعیت رخنمون‌های سازند گچساران در محدوده

⁴ Coherence Mapping

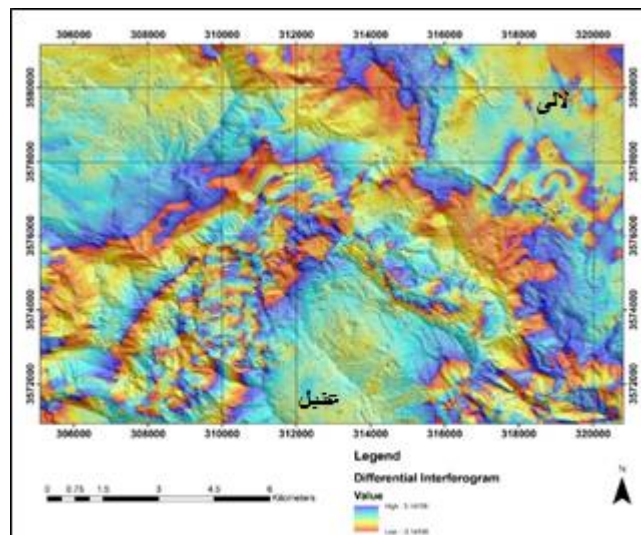
⁵ - incoherency

⁶ - Backscatter

مورد مطالعه در مخزن سد گتوند علیا و حواشی آن نشان می‌دهد که رخنمون‌های این سازند در ساختارهای چین‌خورده‌ای از نوع "چین سوراخ کننده یا چین بیرون زده" ایجاد شده‌اند. این نوع ساختارها در سازندهای تبخیری دارای واحدهای نمکی ضخیم تشکیل می‌گردد. اختلاف فاز بین دو تصویر SAR از حاصل ضرب تصویر اول در مزدوج تصویر دوم به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} y_1 &= |y_1| \exp(i\varphi) & y_2 &= |y_2| \exp(i\varphi) \\ I &= y_1 y_2^* = |y_1| |y_2| \exp(j(\varphi_1 - \varphi_2)) \end{aligned} \quad (۴)$$

به تصویر حاصل از این ضرب مختلط، اینترفروگرام گفته می‌شود. دامنه اینترفروگرام برابر حاصل ضرب دامنه دو تصویر اولیه، و فاز اینترفروگرام برابر اختلاف فاز بین این دو تصویر است؛ بنابراین پیکسل‌های اینترفروگرام نیز دارای مقادیر مختلط هستند. تداخل نگار تهیه شده برای منطقه که فاز توپوگرافی از روی آن حذف شده در شکل (۶) آمده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: تداخل نگار به دست آمده از ضرب تصاویر پایه و پیرو (Master, Slave) منطقه مورد مطالعه که فاز توپوگرافی آن حذف شده است.

دلیل اصلی این تغییر فازهای برگشتی و نیز تداخل نگار ایجاد شده، خواص پلاستیکی ناشی از وجود لایه‌های ضخیم نمک و لایه‌های مارنی است که سبب دگر شکلی لایه‌ها و بهم‌ریختگی آن‌ها می‌شود. قابلیت انحلال نمک‌ها این بهم‌ریختگی را در سطح زمین و یا نزدیک به آن تسریع و تداوم می‌بخشد، سنگ‌شناسی کلی سازند گچساران در خوزستان در بردارنده حدود ۱۶۰۰ متر نمک، مارن‌های رنگارنگ، آهک و مقداری شیل است (Jacques, 2004).

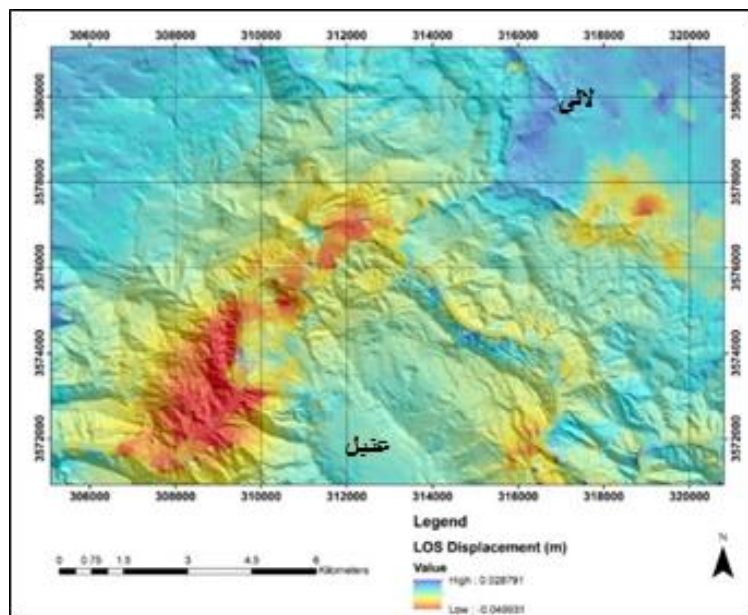
استخراج فاز جابجایی

در صورتی که دو تصویر SAR در زمان‌های متفاوت و اختلاف منظر صفر تهیه شده باشند، اطلاعات جابجایی منطقه را می‌توان استخراج کرد. در واقع، در بازه زمانی بین برداشت دو تصویر ممکن است که موقعیت مکانی نقاط به دلایلی

همچون زلزله، زمین‌لغزش و یا فرونشست تغییر کند. برای تولید نقشه جابجایی سطح زمین لازم است که اثرات فاز توپوگرافی و فاز اتمسفری برداشته شود. فاز توپوگرافی را به راحتی می‌توان با در اختیار داشتن مدل ارتفاعی رقومی زمین محاسبه و اثر آن را حذف کرد. اگرچه در سیستم SAR، سیگنال رادار قادر به نفوذ در پوشش‌های ابری است اما فاز سیگنال به شدت تحت تأثیر شرایط اتمسفری به ویژه بخار آب است. به همین علت، در تهیه نقشه جابجایی سطح زمین لازم است که اثر فاز اتمسفری نیز برداشته شود. رابطه بین فاز توپوگرافی و میزان جابجایی مطابق فرمول زیر است:

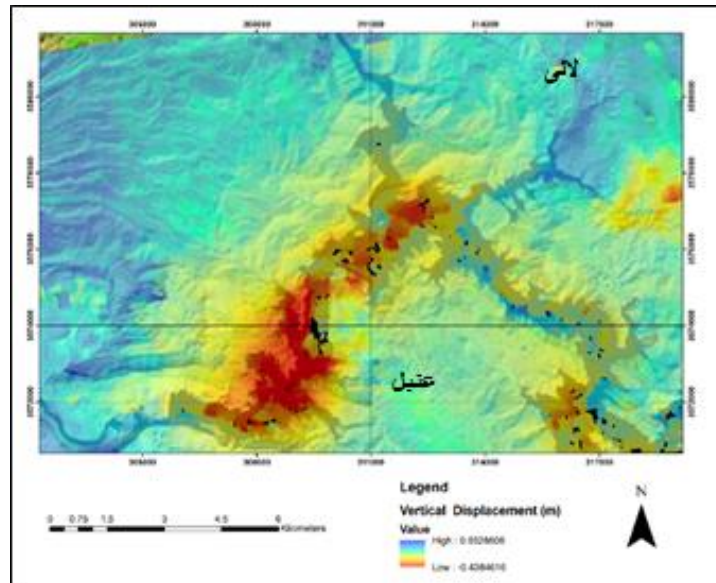
$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\gamma} \Delta R + a \quad (5)$$

با توجه به زاویه برخورد ماهواره Cosmo Sky-Med که در محدوده ثابت ۲۲ تا ۳۷ درجه می‌باشد، و رابطه‌های ۴ و ۵ که مربوط به تولید تداخل نگار می‌باشند، نقشه‌های نهایی فرونشست و لغزش در محدوده سد گتوند علیا هم در جهت دید سنجنده و هم در جهت عمودی رسم شده است (شکل‌های ۷ و ۸). عامل ایجابی چنین حالتی وجود سطوح آب در منطقه و حساسیت طول موج مورد استفاده در سنجنده ASAR یعنی باند C راداری به سطوح آبی موجود در زمین و همچنین تغییرات سازند گچساران می‌باشد که موجب کاهش مقدار همبستگی از باز پراکنش انرژی ثبت شده بین زمان دو تصویربرداری مقدم و مؤخر شده است.



مأخذ: نگارندگان

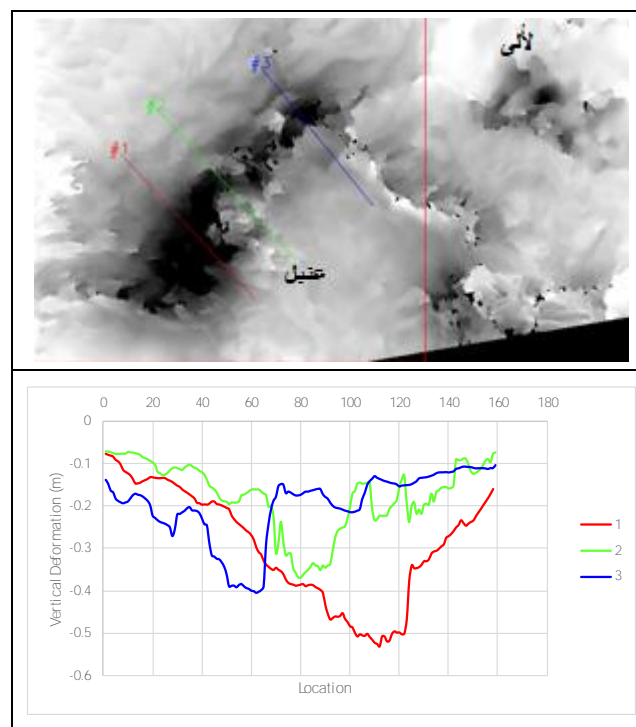
شکل ۷: نقشه جابجایی و تغییر فرم سازند گچساران در محدوده سد گتوند علیا در جهت دید سنجنده Cosmo Sky-Med



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه جابجایی و تغییر فرم سازند گچساران در محدوده سد گتوند علیا در جهت قائم (تصویر پس‌زمینه: لندست ۸ به تاریخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۷)

پروفیل‌های استخراج شده در محدوده سد گتوند علیا نشان می‌دهد که الگوی حداکثر فرونشست به صورت "V" شکل است. این الگو نشان‌دهنده این موضوع است که کناره‌ها و حاشیه منطقه پروفیل دارای تغییرات تدریجی است، بیش‌ترین نرخ فرونشست به میزان ۵۳ سانتیمتر و در حاشیه جنوب شرقی توده نمکی عنبل قرار دارد (شکل ۹).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: پروفیل و نمودارهای ایجاد شده بر روی منطقه جهت بررسی تغییرات ارتفاعی

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این پژوهش حداکثر نرخ فرونشست را در سازند گچساران و در محدوده معدن عنبل به میزان ۵۳ سانتیمتر نشان می دهد شکل (۹). همچنین با توجه به اینترفروگرام حاصل شده از تصاویر راداری محدوده مورد مطالعه (شکل ۸)، بیشترین تغییر فرم و فرونشست مربوط به جهت جنوب شرقی توده عنبل و در نزدیکی معدن نمک رخ داده است. علاوه بر توده نمکی عنبل در دیگر نواحی مربوط به سازند گچساران که در حاشیه مخزن سد قرار داشته اند نیز شاهد زمین لغزش و فرونشست های متعددی بوده ایم. با بررسی نقشه های زمین شناسی و نیز بازدیدهای میدانی که از منطقه انجام شده است، به علت ریزش ها و لغزش های دامنه ای متعددی که هر ساله در توده سازند گچساران در کرانه چپ اتفاق می افتد، بخش هایی از رخنمون لایه های نمکی در محدوده یاد شده توسط واریزه پوشانده شده است. با این وجود، بیشترین ضخامت لایه های رخنمون دار نمک از حدود ۳۰۰ متری بالادست معدن شماره یک تا حدود ۲۰۰ متری پایین دست آن می باشد. با توجه به ضخامت قابل توجه لایه های نمکی که در ترازهای مختلف از زیر بستر رودخانه تا ترازهای بالاتر از تراز نرمال و ماکزیمم مخزن قرار دارند و بخصوص با توجه به خاصیت انحلال پذیری بسیار بالای نمک، اتفاق شوری آب مخزن و نیز احتمال فرار آب از طریق لایه های نمکی به سوی خارج مخزن قابل بررسی است.

با توجه به پیش دانسته ها و همچنین محدودیت های موجود در این پژوهش پیشنهاد می شود:

- در صورت دسترسی به داده های SAR با فاصله زمانی کوتاه تولیدی دو سنجنده Cosmo و Sentinel جهت تعیین دقیق تر نرخ نشست استفاده گردد؛
- با استفاده از مدل سازی داده های چاه های نفت در سطح منطقه، ارتباط بین برداشت از این چاه ها با نتایج به دست آمده کنترل شود.
- میزان اثرات اتمسفر بر روی تداخل نگارهای حاصل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.
- میزان ریسک وارد بر بخش های مختلف از جمله شوری دریاچه که در بستر فرونشست قرار دارند، ارزیابی و جهت تعدیل و پیشگیری خسارات به مسئولین مربوطه گزارش شود.

منابع

- ۱- آذرمی عربشاه، رباب. حافظی مقدس، ناصر. اصغری کلجاهی، ابراهیم و خلیل ولیزاده، کامران (۲۰۱۵): پهنه بندی خطر لغزش دامنه های مخزن سد و نیار تبریز بعد از آبگیری، هفتمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، شاهرود.
- ۲- آقابیاتی، سید علی (۱۳۸۵): زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- ۳- آمیغ پی معصومه، عربی سیاوش و طالبی، علی، (۱۳۸۸)، کاربرد تکنیک تداخل سنجی راداری در مطالعات مناطق فرونشست (مطالعه موردی فرونشست یزد)، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۸، تهران، ایران.

- ۴- بقاء دشتکی، بهمن، ماشاءا.. خامه چیان، سید محمدحسن نظری، ۱۳۸۹، بررسی پایداری دامنه‌های سازند گچساران واقع در مخزن سد گتوند تحت تأثیر آبیگری مخزن و انحلال مصالح نمکی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، دوره ۴، شماره ۱ - (بهار و تابستان ۱۳۸۹).
- ۵- جنت، کبری، قاضی فرد، اکبر و روستایی، مه آسا (۱۳۸۸): پایش فرونشست زمین در دشت گلپایگان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و شکاف سنج، ششمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران در سال ۱۳۸۸.
- ۶- حقیقت مهر، پریسا، ولدان زوج، محمدجواد، تاجیک، رضا، جباری سعید، صاحبی محمود رضا، اسلامی رضا، گنجیان مصطفی و دهقانی مریم (۱۳۸۹): اندازه‌گیری فرونشست دشت هشتگرد ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- ۷- داموغ، نورعلی و زارعی، حیدر. ۱۳۹۰، بررسی مشکلات انحلال لایه‌های نمکی سازند گچساران در مخزن سد گتوند علیا، طرح تحقیقاتی شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان، کد پروژه: kud-84001 سازمان مجری: مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق خوزستان.
- ۸- دهقانی، مریم، ولدان زوج، م ج، Biggs, J. روستایی، م، Parsons Wright, B, T, (1385)، تعیین نرخ فرونشست شمال غرب مشهد به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری (In SAR)، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
- ۹- رحمتی، علیرضا و اصغر نظریان (۱۳۸۹): آثار اقتصادی - اجتماعی و محیط‌زیستی سکونتگاه‌های مشمول جابه‌جایی ناشی از ایجاد سدها (مطالعه موردی سد گتوند علیا، رودخانه کارون)، نشریه: پژوهش‌های محیط‌زیست، پاییز و زمستان ۱۳۸۹، دوره ۱، شماره ۲؛ صص ۵۳-۶۶.
- ۱۰- رسولی، علی اکبر (۱۳۸۷)، مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات دانشگاه تبریز.
- ۱۱- سالاری. مرجان، رادمنش. فریدون و زارعی. حیدر. (۱۳۹۱): ارزیابی کمی و کیفی منابع آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI و روش AHP، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، شماره ۲۳.
- ۱۲- شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، (۱۳۸۷): شناسنامه و مشخصات کلی پروژه سد و نیروگاه گتوند علیا.
- ۱۳- شریفی کیا، محمد، (۱۳۹۱)، تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-In SAR) در دشت نوق - بهرمان، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۱، صص ۷۷-۵۵.
- ۱۴- شیخی کوهسار، زهرا. (۱۳۹۱): تأثیر فرونشست زمین روی خط راه آهن منطقه یزد- اردکان با استفاده از تداخل سنجی راداری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشکده سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی. واحد یزد.
- ۱۵- صفرپور، زکیه، جلیل فرزاد مهر، علی گل‌کریان و مهدی بشیری، (۲۰۱۵): «بررسی نقش سنگ‌شناسی در بروز زمین‌لغزش‌های محدوده سد بیدواز اسفراین»، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری، ۲۰۱۵-۲۰۲-۲۵.
- ۱۶- نجمایی، محمد، (۱۳۸۲): سد و محیط‌زیست، وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، چاپ اول، تهران، ایران.
- ۱۷- یمانی، مجتبی، سمیه عمادالدین، قاسم لرستانی، ۱۳۹۱، مورفودینامیک ساحلی و نقش آن در تحوّل سدهای ساحلی دلتای رود جگین، مجله پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی، دوره ۱، شماره ۱.

- 18- Damoah-Afari, P, Ding, X.L. and Lu, Z. (2008): Detecting Ground Settlement of Shanghai Using Interferometric Synthetic Aperture Radar (In SAR) Techniques, The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol, XXXVII, Part Bv, Beijing 2008.
- 19- Jacques Mudry, François Zwahlen, Catherine Bertrand, James W. La Moreaux, (2004): H2Karst Research in Limestone Hydrogeology, ISBN: 978-3-319-06138-2 (Print) 978-3-319-06139-9 (Online).
- 20- Lubis, A. M, Sato, T, Tomi Yama, N, Isezaki, N, Yamanokuchi, T, (2011): Ground Subsidence in Semarang-Indonesia Investigated By ALOS-PALSAR Satellite SAR Interferometry, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 40, Issue 5, 30 March 2011, Pages 1079-1088.

- 21- Petar milanovic, 2004, Water Resources Engineering in Karst, Crc Pres, Boca Raton London New York Washington, D. C.
- 22- Richards, M., (2005): Fundamentals of Radar Signal Processing, New York: Mc Graw- Hill.
- 23- Raney, R. K., (1998): Radar Fundamentals: Technical Perspective, Manual of Remote Sensing, Third Edition, Vol. 1, 2, ASPRS, John Wiley and Sons Inc., Toronto.
- 24- Tomas, R, Herrera, G, Cooksey, G, Mulas, J, (2011): Persistent Scattered Interferometry Subsidence Data Exploitation Using Spatial Tools: The Vega Media of The Segura River Basin case study, Journal of Hydrology, Vol. 400, Issues 3–4, 11 April 2011, Pages 411-428.
- 25- Usai, S, (2011): “A New Approach For Long Term Monitoring of Deformations By Differential SAR Interferometry,” Ph.D. Thesis, Delft Univ. Press, Delft, The Netherlands.
- 26- Zebker, H. A. Rosen, P. A, Goldstein, R. M, Gabriel, A & Werner, C. L. (1994): “On the Derivation of Seismic Displacement Fields Using Differential Radar Interferometry: The Landers Earthquake”, Journal of Geophysical Research, 99 (B10), Pp. 19617-19634.