

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۹۷، صص ۵۳-۳۷

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۹

## تغییرات ژئومورفولوژیکی سازند گچساران ناشی از آبگیری سد گتوند علیا، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی رادار

اکبر هاشمی فرد<sup>۱</sup>

پرویز کردوانی<sup>\*۲</sup>

فریده اسدیان<sup>۳</sup>

### چکیده

تصاویر ماهواره‌ای به علت دید وسیعی که از یک منطقه ایجاد می‌کنند و همچنین به دلیل پوشش تکراری منظم، به عنوان یکی از ابزارهای مهم مدیریت منابع زمینی قلمداد می‌شوند. با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور، خصوصاً تداخل سنجی راداری (InSAR) می‌توان حرکات و تغییرات ناشی از پدیده‌هایی مانند زمین‌لرزه، آتشفشان، یخچال‌ها، زمین‌لغزش و دیابیرهای نمکی و دیگر پدیده‌های نامنظم را مطالعه نمود. در این پژوهش از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری به منظور به تصویر کشیدن جابجایی سطح زمین در محدوده سد گتوند علیا و بررسی تغییرات زمانی کوتاه مدت و بلند مدت این حادثه کمک گرفته شده است. ۴ تصویر SLC باند C، سنجنده‌ی ASAR ماهواره‌ی ENVISAT مربوط به بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱، در قالب طرح پژوهشی از مرکز فضایی اروپا با گستره‌ی ۱۰۰×۱۰۰ کیلومتر مربع اخذ شد. از پردازش تصاویر با اختلاف زمانی یک ساله و بیش از یک سال ۴ اینترفروگرام مستقل حاصل شد، به منظور حذف اثر توپوگرافی از اینترفروگرام‌ها از SRTM DEM منطقه با قدرت تفکیک ۹۰ متر استفاده شد. و پردازش اینترفروگرام‌ها به کمک نرم‌افزار Sarscape انجام شد. جهت

۱ - دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۲ - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).  
E-mail:kardavani@yahoo.com

۳ - استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران.

اصلاح اعوجاج تصاویر که در اثر نیروی جاذبه‌ی ماه بر روی تصاویر ایجاد می‌شود، از فایل DOR-VOR که حاوی اطلاعات برداشتی ماهواره DORIS آژانس فضایی اروپا می‌باشد، استفاده شده است. از نتایج حاصل از تداخل‌سنجی رادار، حداکثر میزان فرونشست در محدوده‌ی مورد مطالعه، حدود ۳/۵ سانتی متر در سال محاسبه شده است. نتایج تداخل‌نگار به دست آمده در این تحقیق حداکثر نرخ فرونشست را در سازند گچساران و در محدوده‌ی معدن نمک عنبل به میزان ۳/۵ سانتی متر نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: سازند گچساران، تداخل سنجی تفاضلی، سد گتوند علیا، اینترفروگرام.

#### مقدمه

سازندهای زمین و واحدهای سنگی از لحاظ مختلف به ویژه خصوصیات سنگ‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی متفاوت، در مواجهه با آب رفتار متفاوتی از خود نشان داده و مطالعه دقیق آنها ضروری می‌باشد (آقائباتی، ۱۳۸۵: ۴۵). سازند گچساران که نام آن از میدان نفتی گچساران گرفته شده است، به عنوان یکی از سازندهای تبخیری زاگرس در جنوب و جنوب غربی کشور گسترش زیادی دارد (داموغ، ۱۳۸۹: ۲۷). سدهای بزرگ معمولاً به صورت چندمنظوره و با اهدافی چون ذخیره‌ی آب برای فصول کم آب، کنترل سیلاب، تولید انرژی و استفاده‌ی 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 زیست محیطی و اقلیمی طرح‌های سدسازی را الزامی می‌کند. رودخانه‌ی کارون بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه کشور است که سرشاخه‌های اصلی آن از استان‌های مجاور سرچشمه می‌گیرد و به جلگه خوزستان وارد می‌شود. اتفاقاتی که سبب ایجاد بحران آلودگی کارون شده را باید در دو بخش عمده جست‌وجو کرد: بخش سرشاخه‌های کارون و بخش جلگه‌ی کارون. در سرشاخه‌ها فعالیت‌های انسانی خاصی رخ داده و در

جلگه فعالیت‌های دیگری. در مورد فعالیت‌های انسانی اثرگذار بر رودخانه کارون در مناطق کوهستانی، اجرای طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ و کوچک سدسازی و انتقال بین‌حوضه‌ای آب از رودخانه‌ی کارون به حوضه‌های مجاور، تعادل هیدرولوژیکی و اکولوژیکی کارون را در مناطق بالادست به هم زده و در حال حاضر این رودخانه در حوضه‌ی آبریز بالادست خود با زنجیره‌ای از سدهای ساخته شده مدیریت می‌شود.

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

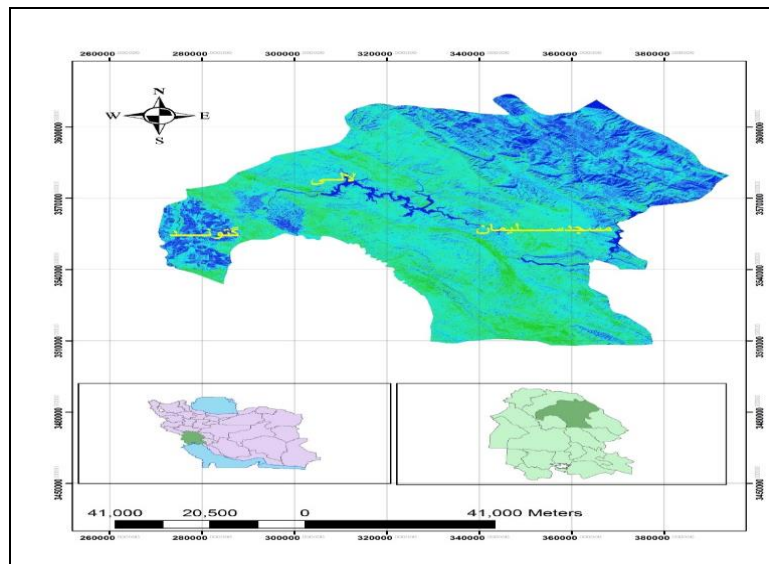
حقیقت مهر و همکاران (۱۳۸۹)، از تکنیک تداخل‌سنجی راداری برای تعیین نرخ فرونشست و لنداسلایدهای دشت هشتگرد، با استفاده از ۴ تصویر راداری ENVISAT، در بازه‌ی زمانی ۴ ماهه (۱۱ جولای ۲۰۰۸ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸)، بیشینه‌ی مقدار نرخ فرونشست را در این دشت ۳۵ میلی‌متر در ماه به دست آوردند. جنت و همکاران در سال ۱۳۸۸، از روش تداخل‌سنجی راداری برای مشخص کردن تغییر شکل سطح زمین در دشت گلپایگان استفاده نمودند. این دشت از جمله مناطقی است که دچار فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی جهت مقاصد کشاورزی، گردیده است. حداکثر جابجایی عمودی در اثر فرونشست با استفاده از روش تداخل‌سنجی رادار و داده‌های ماهواره‌ای ENVISAT در بازه‌ی 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 بازه‌ی زمانی ۱۹ و ۱۲ سانتی‌متر به دست آمد. دامواه- افاری<sup>۱</sup> و همکاران سال (۲۰۰۸)، از روش DInSAR با داده‌های ماهواره‌ی JERS1 در باند L برای شانگهای استفاده نمودند اینترفروگرام‌های تفاضلی ایجاد شده از داده‌های L باند JERS1 میزان فرونشست را با دقت بیشتری نشان داد، و نتایج به دست آمده از PSInSAR با وجود داشتن نویز، نتایج به دست آمده از DInSAR را تأیید

1- Damoah-Afari

نمودند. المدرسی و دیگران (۱۳۹۵) از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری برای محاسبه‌ی خصوصیات فیزیکی برف با استفاده از تصاویر تراسار ایکس باند (Terrasar-X) و مودیس (Modis) استفاده نموده و نتایج بیانگر دقت کلی ۹۱/۳ درصد ضریب کاپای ۸۴/۴۵ نقشه‌ی سطح برف و نقشه‌ی عمق برف با ضریب تعمیم ۸۵ درصد و Rmse برابر ۲/۷۸۷ بوده است. از دیگر تحقیقاتی که زمین لغزش و تغییر فرم سازند را به عنوان یکی از پیامدهای احداث سدها مطالعه نموده‌اند می‌توان موارد زیر اشاره نمود: سد خاکی مسجدسلیمان (داودی و جواهری، ۱۳۸۶)، حوضه‌ی آبریز سد شیرین‌دره (احمدیان مقدم و دیگران، ۲۰۱۴)، سد ونیاز تبریز (آذرمی عربشاه و دیگران، ۲۰۱۱)، سد بیدواز اسفراین (صفرپور و دیگران، ۲۰۱۵)، حوضه‌ی آبخیز کارون بزرگ (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱). هدف از این تحقیق آشکارسازی جابجایی زمین در محدوده‌ی سازندهای دچار انحلال شده اطراف دریاچه‌ی سد گتوندعلیا، با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری می‌باشد.

### منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی 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 محدوده‌ی 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).



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی سد گتوند علیا

سد گتوند علیا پایین دست‌ترین سد بزرگ ساخته شده بر روی رودخانه‌ی کارون، قبل از ورود به جلگه‌ی خوزستان است، و در بالادست آن به ترتیب سدهای گدارلندر (مسجدسلیمان)، شهیدعباسپور (کارون ۱)، کارون ۳ و کارون ۴ ساخته شده و سدهای دیگری نیز 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 مطالعه‌ی دقیق آنها ضروری است. یکی از سازندهایی که رودخانه‌ی کارون در محدوده‌ی حد فاصل سد گدار/مسجدسلیمان تا سد تنظیمی گتوند از آن عبور کرده و محدوده‌ی مخزن سد گتوند علیا را احاطه کرده است، سازند گچساران می‌باشد (آقنابتی، ۱۳۸۵: ۵۰). به علت وجود نمک در این سازند، کیفیت آب رودخانه و مخزن متأثر از آن می‌باشد (بقادشتکی و دیگران، ۱۳۸۹). پس از آبیگری سد گتوند علیا در سال مرداد ماه ۱۳۹۰، 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.

## مواد و روش‌ها

### معیارهای انتخاب و داده‌های مورد استفاده

انتخاب تصاویری مناسب برای پردازش اینترفرومتری، به عنوان اولین و یکی از مهم‌ترین گام‌های اساسی در اجرای این روش پردازشی می‌باشد. اهمیت این امر به این خاطر است که معیارهای مورد نظر برای انتخاب تصاویر راداری تأثیر مستقیم بر کیفیت نتایج نهایی خواهند گذاشت. البته این معیارها در ارتباط با کاربردهای است که از پردازش تداخل سنجی مدنظر است.

- زاویه دید

- خط مبنا

- زمان تصویربرداری

- همدوسی

- اثرات اتمسفری (ویتور و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲).

در این پژوهش از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری<sup>۲</sup> به منظور به تصویر کشیدن محدوده‌ی فرونشست (جابجایی سطح زمین) و بررسی تغییرات زمانی کوتاه مدت و بلند مدت این حادثه کمک گرفته شده است. ۴ تصویر SLC باند C، سنجنده ASAR ماهواره ENVISAT مربوط به بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱، در قالب طرح پژوهشی از مرکز فضایی اروپا با گستره‌ی ۱۰۰×۱۰۰ کیلومتر مربع اخذ شد. از پردازش تصاویر با اختلاف زمانی یک ساله و بیش از یک سال ۴ اینترفروگرام مستقل حاصل شد، که در جدول (۱) مشخصات آنها آورده شده است. به منظور حذف اثر توپوگرافی از اینترفروگرام‌ها از SRTM DEM منطقه با قدرت تفکیک ۹۰ متر استفاده شد و پردازش اینترفروگرام‌ها به کمک نرم‌افزار Sarscape انجام شد. جهت اصلاح اعوجاج تصاویر که در اثر نیروی جاذبه ماه بر روی تصاویر ایجاد می‌شود، از فایل DOR-VOR

1- Vettore et al.,

2- DInsar

که حاوی اطلاعات برداشتی ماهواره DORIS آژانس فضایی اروپا می‌باشد، استفاده شده است.

جدول (۱) زوج تصویر انتخابی از سنجنده‌ی ASAR ماهواره‌ی ENVISAT

| شماره بلوک | خط مبنای بحرانی (متر) | خط مبنای مکانی (متر) | خط مبنای زمانی (روز) | تاریخ میلادی (روز-ماه-سال) | نام اختصاری انتخابی |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| ۴۲۱        | ۸۴/۹۳۱                | ۵۷/۱۱۹               | ۱۷۳                  | ۲۰۰۸/۰۵/۲۱<br>۲۰۰۷/۱۱/۲۸   | A1                  |
| ۴۲۱        | ۷۰/۹۳۱                | ۰۷/۵۲۴               | ۴۸۲                  | ۲۰۰۹/۰۹/۲۳<br>۲۰۰۸/۰۵/۲۱   | A2                  |
| ۴۲۱        | ۸۴/۹۳۱                | ۶۱/۴۰۳               | ۶۵۵                  | ۲۰۰۹/۰۹/۲۳<br>۲۰۰۷/۱۱/۲۸   | A3                  |
| ۹۲         | ۷۹/۲۰۹۷               | ۴۷/۴۶۳               | ۱۱۸                  | ۲۰۱۱/۷/۱<br>۲۰۱۱/۱۰/۲۹     | A4                  |

در شکل (۲) مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است.

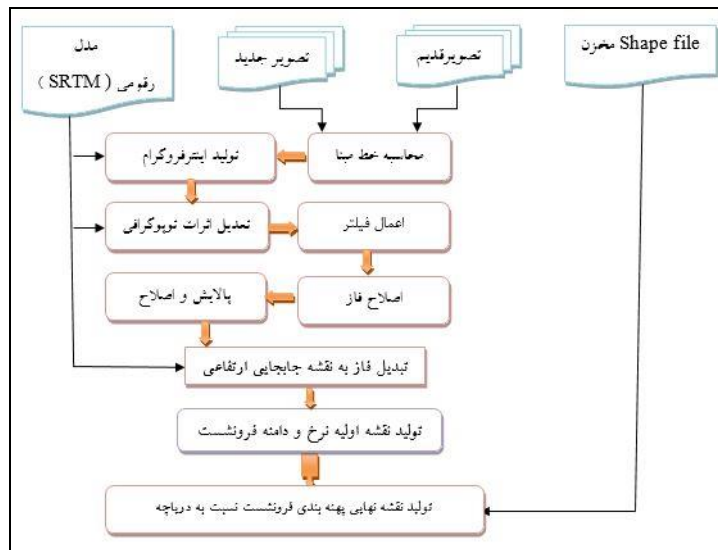
### روش کار و ابزار پژوهش

در نخستین مرحله از زنجیره‌ی تحلیل این داده‌ها با هدف ساخت تداخل‌نگار لازم بود با توجه به قدرت تفکیک متفاوت این سنجنده در امتداد برد مایل راداری (۷/۸۰ متر) و آزیموت (۴/۰۵ متر)، اطلاعات قدرت تفکیک در راستای برد به قدرت تفکیک زمین طبق رابطه‌ی (۱) در راستای برد تبدیل شود.

$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} * \delta\rho \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در رابطه فوق  $\delta\rho$  تفاضل برد مایل در حالت عبور اول و دوم است. اگر هر کدام از سیگنال‌های بازگشتی از سنسور را به صورت یک عدد مختلط تصور نمود:

$$V_1(R, X) = |V_1(R, X)|e^{-j\varphi_1(R, X)} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$



شکل (۲) مدل مفهومی مراحل تحقیق

$$V_2(R, X) = |V_2(R, X)|e^{-j\varphi_2(R, X)} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

یک اینترفروگرام از ضرب پیکسل به پیکسل سیگنال‌های بازگشت خورده مختلط از دو تصویر رادار دریاچه مصنوعی حاصل می‌شود.

$$V(R, X) = V_1(R, X)V_2^*(R, X) = |V_1(R, X)||V_2(R, X)|\exp [j\varphi(R, X)] \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

در این رابطه \* مقدار مزدوج عدد مختلط و  $\varphi$  فاز اینترفرومتری می‌باشد.  $X$  نشان‌دهنده مختصات در جهت حرکت ماهواره و  $R$  مختصات پیکسل در جهت بردار می‌باشد (ریچاردز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵).



با فرض موازی بودن شعاع‌های نوری در حالت استفاده از سکوه‌های فضایی می‌توان این چنین بیان نمود:

$$\rho\delta \approx B \sin(\theta - \alpha) \approx B \parallel \quad (\delta) \text{ رابطه‌ی}$$

$B \parallel$ ، مؤلفه‌ای از خط مبناست که موازی با جهت نظاره راداری است. با جایگذاری مقدار به دست آمده برای  $\delta\rho$  از رابطه‌ی (۸) در رابطه‌ی (۹) داریم:

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} B \sin(\theta - \alpha) = \frac{4\pi}{\lambda} * B \parallel \quad (\phi) \text{ رابطه‌ی}$$

جهت تعدیل اثر توپوگرافی بر روی تداخل نگار حاصل شده، روش‌های مختلفی وجود دارد ولی در حالت کلی فاز مربوط به جابجایی زمین باید از فاز ثابت القا شده ناشی از هندسه راداری و شرایط مداری سنجنده و همچنین فاز موجود از تأثیر توپوگرافی جدا گردد. در این باره یکی از راه‌حل‌های ممکن تقسیم فاز تفاضلی حاصل از تداخل نگار به دو مؤلفه جدا از هم، فازهای با تواتر بالا و فازهایی با تواتر پایین است. فازها با تواتر پایین ناشی از توپوگرافی و هندسه تصویربرداری راداری هستند که برای حذف آنها لازم است توپوگرافی نادیده گرفته شود. با تفریق یک تداخل نگار از دیگری، فرینج‌های مربوط به توپوگرافی معمول حذف شده و آنچه باقی می‌ماند، تغییرات ایجاد شده در توپوگرافی سطح یا جابجایی در آن است. زیکر و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) معادله‌ی زیر را برای تداخل‌سنجی تفاضلی ارائه کرده‌اند:

$$\delta\phi = \phi_{2flat} - \frac{B_{2\pm}}{B_{1\pm}} \phi_{1flat} = \frac{4\pi}{\lambda} D \quad (\gamma) \text{ رابطه‌ی}$$

$$\phi_{flat} = \frac{4\pi}{\lambda} (\theta - \theta_0) \cdot B_{\pm} \quad (\lambda) \text{ رابطه‌ی}$$

که در رابطه‌ی فوق  $\theta_0$  زاویه دید سنجنده نسبت به نقاط زمینی با فرض ارتفاع محلی صفر آنها (سطح مبنای بیضوی زمین)،  $\phi_{2flat}$  و  $\phi_{1flat}$  تداخل نگارهای بازیابی فاز

شده برای قبل از رخداد و حین رخداد یا بعد آن است به طوری که مرحله‌ی تصحیح فاز توپوگرافی جهت حذف اثر کرویت زمین قبل از آن انجام شده باشد، D نیز جابجائی احتمالی در سطح زمین است. خط مبنای عمودی نیز با  $B^{\perp}$  نشان داده شده است.

تغییر شکل D مستقیماً متناسب با اختلاف فاز تفاضلی  $\delta\phi$  است، بنابراین تکنیک تداخل سنجی تفاضلی تغییر شکل سطح زمین را می‌تواند تا حد کمتر از نصف طول موج مورد استفاده و با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری کند. بدین منظور با وارد کردن مدل رقومی ارتفاعی زمین کسب شده از شاتل SRTM (با دقت ۹۰ متر) مقادیر ارتفاعی توپوگرافی به نسبت سطح بیضوی از ارتفاع به بردار شعاعی تبدیل می‌شود که این فاز را فاز مصنوعی (sint) گویند که در این صورت سطح بیضوی و فاقد توپوگرافی فرض شده است. فازهای با تواتر بالا که به علت تغییرات زمانی فاز در طی اخذ دو تصویر (تغییر در سطح یا اتمسفر) و همچنین اختلاف ارتفاعی DEM با ارتفاع مبنای مدل بیضوی زمینی ایجاد می‌شوند. تداخل‌نگار حاصل به تداخل‌نگار مسطح ملقب است (شکل ۳).

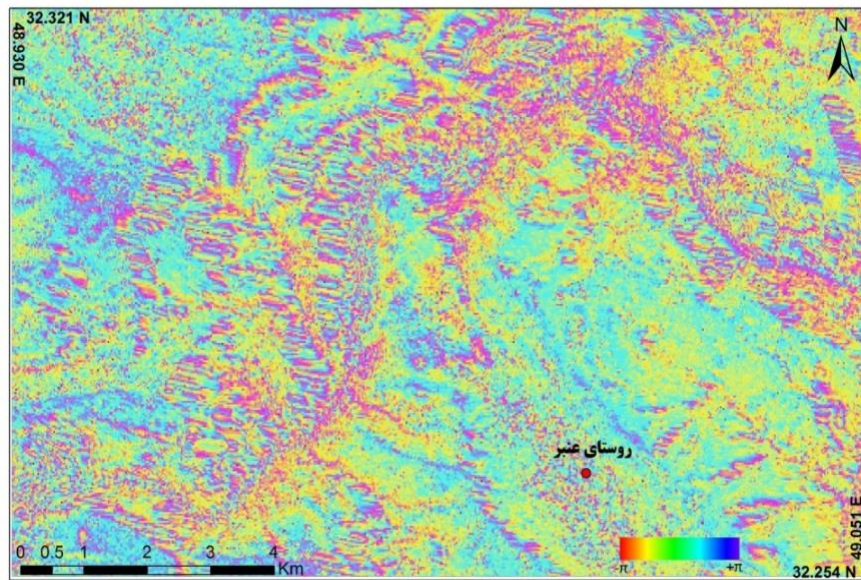
#### اعمال فیلتر تطبیقی و تولید تصویر همدوس

تداخل‌نگار تفاضلی حاصل از حذف اثرات توپوگرافی در مرحله‌ی پیشین، حاوی نویزهایی است که در نتیجه اختلاف زمانی یا بازه‌ی زمانی دریافت دو تصویر راداری و یا در اثر تفاوت خط مبنای مکانی و همچنین ناشی از لکه‌های فاقد سیگنال پدید آمده و ممکن است باعث پایین آمدن کیفیت تداخل‌نگار شده باشند، لذا لازم است تا با اجرای فیلترهای تطبیقی<sup>۲</sup> اثر نویزها را از روی تداخل‌نگارها حذف کرد. در تحقیق حاضر از فیلتر گلدشتاین<sup>۳</sup> برای پاکسازی تداخل‌نگار حاصل شده استفاده شد (جدول ۲ و شکل ۴).

1- Splotch

2- Adaptive Filter

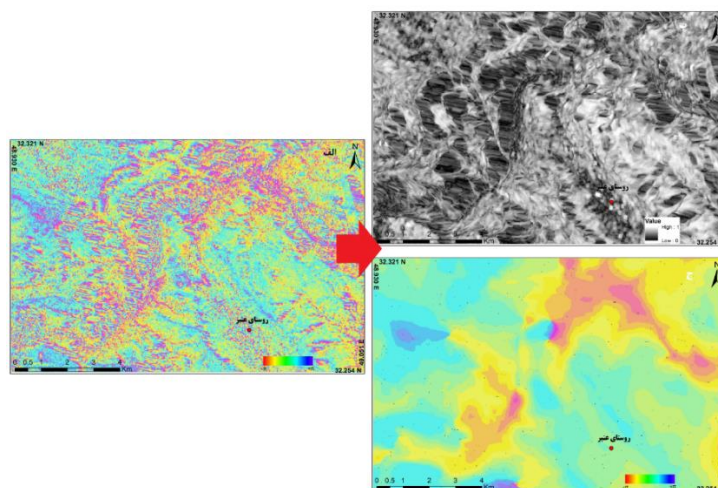
3- Goldstein



شکل (۳) تداخل نگار فازی مسطح شده حاصل از پردازش زوج تصویری  $A_1$  سنجنده‌ی ASAR

جدول (۲) مقادیر همدوسی برای زوج تصویر ASAR در تصویر همدوس

| انحراف معیار | بیشترین مقدار | میانگین  | کمترین مقدار | خط مبنای زمانی (روز) | زوج تصویر |
|--------------|---------------|----------|--------------|----------------------|-----------|
| ۰/۲۰۳۱۷۴     | ۰/۹۹۱۶۱۴      | ۰/۳۶۹۶۲۵ | ۰/۰۰۰۰۴۲     | ۱۷۳                  | A1        |
| ۰/۱۲۳۵۹۶     | ۰/۹۳۰۴۱۳      | ۰/۲۱۳۸۵۹ | ۰/۰۰۰۰۶۱     | ۴۸۲                  | A2        |
| ۰/۱۳۵۰۵۹     | ۰/۹۴۶۸۵۹      | ۰/۲۳۴۴۹۱ | ۰/۰۰۰۰۵۰     | ۶۵۵                  | A3        |
| ۰/۱۵۵۳۳۵     | ۰/۹۱۶۷۱۰      | ۰/۲۴۹۷۸۲ | ۰/۰۰۰۰۲۴     | ۱۱۸                  | A4        |



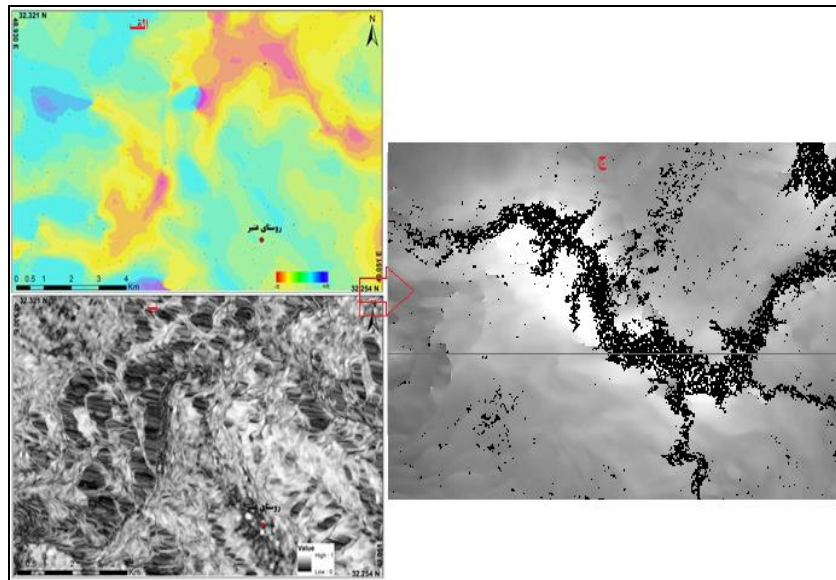
شکل (۴) انجام فیلتر توافقی گلدشتاین بر روی زوج تصویر  $A_1$  از سنجنده ASAR (الف- تداخل نگار فازی مسطح شده ب- تصویر همدوس ج- تصویر تداخل سنجی تفاضلی راداری فیلتر شده)

### اصلاح فاز<sup>۱</sup> و آشکارسازی مناطق ناپایداری دامنه‌ای

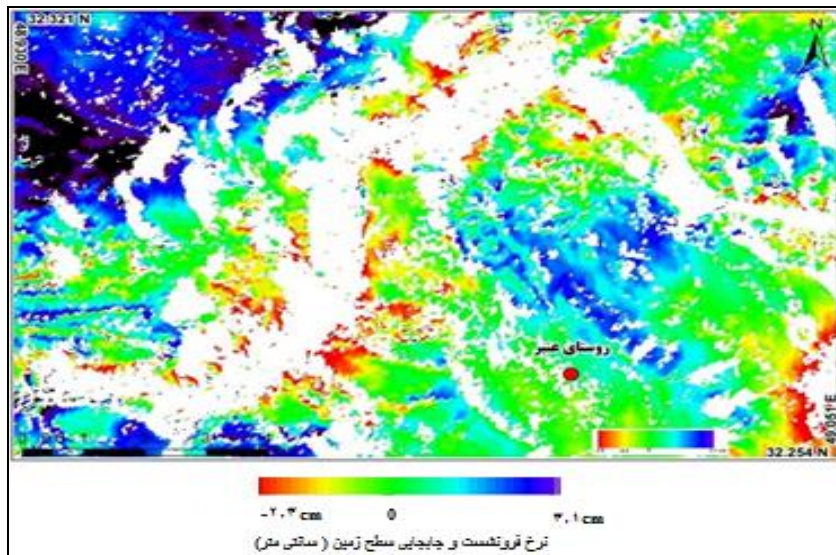
با توجه به مقادیر همبستگی در تداخل نگارهای حاصل، از الگوریتم موسوم به رشد ناحیه‌ای<sup>۲</sup> برای تداخل نگارهای حاصل از سنجنده ASAR استفاده شد. مقادیر آستانه‌ای این الگوریتم نیز با توجه به میانگین مقدار همبستگی در تصویر همدوسی محاسبه و تنظیم گردید (شکل ۵).

در ادامه، نتایج نهایی این مرحله، با کمک مدل‌سازی رقومی زمین<sup>۳</sup> (DTM) جهت تهیه نقشه‌های موضوعی به محیط Arc GIS منتقل شده و نهایتاً نتایج آشکارسازی زمین لغزش در سطح منطقه از طریق پیمایش میدانی با استفاده از GPS و انطباق آن با اطلاعات موجود در محیط برنامه‌ی Google-Earth کنترل و ارزیابی شد (شکل ۶و ۷).

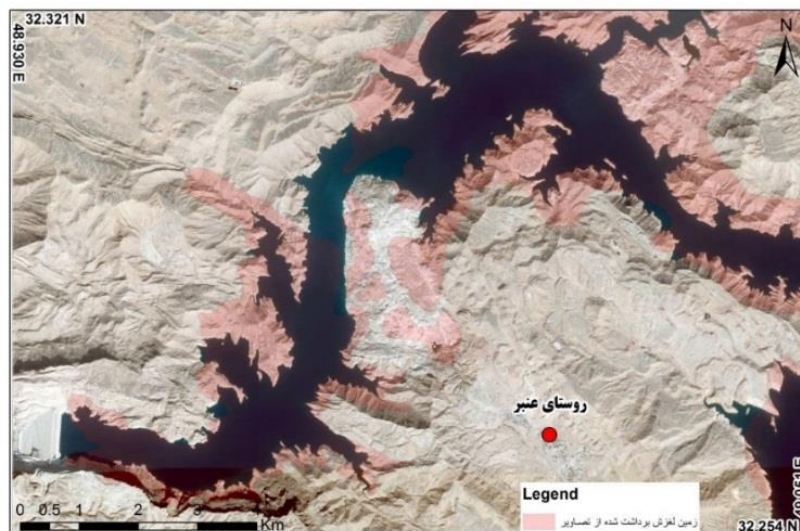
1- Phase Unwrapping  
2- Region Growing  
3- Digital Terrain Modeling



شکل (۵) تصویر حاصل از اصلاح فازی زوج تداخل نگار  $A_1$  از سنجنده ASAR (الف- تداخل نگار تفاضلی فیلتر شده ب- تصویر هم‌دوس ج- تداخل نگار اصلاح‌شده‌ی فازی)



شکل (۶) تصویر میزان ناپایداری دامنه‌ای حاصل از تداخل نگار  $A_4$ ، سنجنده ASAR



شکل (۷) استخراج تمام لغزش‌های برداشت شده در پردازش زوج تصویرها

### نتیجه‌گیری

در زمینه تأثیرات زمین‌ساختی دریاچه سدها و همچنین پردازش تصاویر ماهواره‌ای زمین لغزش‌ها و فرونشست‌ها تحقیقات پراکنده‌ای در گوشه و کنار ایران و دیگر کشورها صورت گرفته است، ولی در خصوص سد گتوند علیا فقط به صورت زمینی و با استفاده از گمانه‌زنی‌های زمین‌شناسی و تحلیل نیمرخ عرضی سازند گچساران و معادن نمک اطراف دریاچه‌ی سد مطالعاتی انجام شده بود، که نوآوری و جدید بودن این پژوهش را می‌رساند. نتایج حاصل در این تحقیق بیانگر این بود که بیشینه نرخ جابجایی در منطقه به حدود ۳/۵ سانتی متر در سال (در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱) می‌رسد. همچنین با توجه به اینترفروگرام حاصل شده از تصاویر راداری محدوده‌ی مورد مطالعه، بیش‌ترین تغییر فرم و فرونشست مربوط به جهت جنوب شرقی توده عنبل و در نزدیکی معدن نمک رخ داده است (شکل ۷). با توجه به زمان شروع آبیگری سد گتوند علیا در مرداد ماه ۱۳۹۰ و همچنین شروع انحلال‌های صورت گرفته در سازند گچساران، این اولین مطالعه سنجش از دوری رادار بر روی سازند گچساران در این محدوده می‌باشد. علاوه

بر توده‌ی نمکی عنبل در دیگر نواحی مربوط به سازند گچساران که در حاشیه‌ی مخزن سد قرار داشته‌اند نیز شاهد زمین لغزش و فرونشست‌های متعددی بوده‌ایم. با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و نیز بازدیدهای میدانی که از منطقه انجام شده است، به علت ریزش‌ها و لغزش‌های دامنه‌ای متعددی که هر ساله در توده‌ی سازند گچساران در کرانه‌ی چپ اتفاق می‌افتد، بخش‌هایی از رخنمون لایه‌های نمکی در محدوده‌ی یاد شده توسط واریزه پوشانده شده است. لازم به ذکر است که زمین لغزش‌هایی که به موازات جهت پرواز ماهواره رخ می‌دهند قابل برداشت نمی‌باشد، همچنین زمین لغزش‌هایی که در منطقه‌ی اعوجاجات هندسی (سایه و وارونگی) قرار می‌گیرد قابل برداشت نیستند. در حقیقت زمین لغزش‌های واقع بر روی شیب‌های بزرگ‌تر از زاویه دید ماهواره (۳۷/۸ درجه) قابل برداشت نمی‌باشد.

## منابع

- آخوندزاده، محمدعلی (۱۳۸۴)، نمایش نشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش SAR اینترفرومتری در سنجش از دور، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۴، تهران، ایران.
- احمدیان مقدم، رضا؛ غفوری، محمد و غلامرضا لشکری پور (۲۰۱۴)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز سد شیرین‌دره، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران دانشگاه صنعتی، شاهرود.
- آذر می عربشاه، رباب؛ حافظی مقدس، ناصر؛ اصغری کلجاهی، ابراهیم و کامران ولیزاده (۲۰۱۵)، پهنه‌بندی خطر لغزش دامنه‌های مخزن سد ونیاز تبریز بعد از آبگیری، هفتمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، شاهرود.
- آقابات، سیدعلی (۱۳۸۵)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص ۵۰-۵۹.
- حقیقت‌مهر، پریسا؛ ولدان زوج، محمدجواد؛ تاجیک، رضا؛ جباری، سعید؛ صاحبی، محمودرضا؛ اسلامی، رضا؛ مصطفی، گنجیان و مریم دهقانی (۱۳۸۹)، اندازه‌گیری فرونشست دشت هشتگرد ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- شریفی‌کیا، محمدرضا (۱۳۹۱)، تعیین میزان و دامنه‌ی فرونشست زمین به‌کمک روش تداخل‌سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان، مجله‌ی برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۳، پاییز ۱۳۹۱، صص ۵۵-۷۷.
- صفرپور، زکیه؛ فرزادمهر، جلیل؛ گل‌کاریان، علی و مهدی بشیری (۲۰۱۵)، بررسی نقش سنگ‌شناسی در بروز زمین لغزش‌های محدوده‌ی سد بیدواز اسفراین، کنفرانس بین‌المللی توسعه‌ی پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، ۲۰۱۵-۲۰۲-۲۵.



- یمانی، مجتبی؛ حسن پور، سیروس؛ مصطفایی، ابوالفضل و مجید شادمان رودپشتی (۱۳۹۱)، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، زمستان ۱۳۹۱، شماره‌ی ۴ (پیاپی ۴۸)، صص ۳۹-۵۶.
- Chatterjee, SK. (2002), **Cultivation of medicinal and aromatic plants in India: A commercial approach**, Proceedings of an International Conference on MAP, Acts Horticulture (ISHS), 576, PP. 191-202.
- Chen, F, Lin, H, Li, Z, Chen, Q, Zhou, J. ( 2012), **Interaction between permafrost and infrastructure along the Qinghai-Tibet Railway detected via jointly analysis of C- and L-band small baseline SAR interferometry**, Remote Sensing of Environment 123, PP. 532-540.
- Larson, K.J., H. Barasaoslu and M.A. Marino (2001), **Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model**, Journal of Hydrology, Vol. 242, Issues 1-2, 15 February 2001, PP. 79-102.
- Zahra, Sheikhi Kouhsar, Seyed Ali Almodaresi, Ali, Sarkargar Ardakani, Parastoo, Sahebalzamani, (2014), **Detecting Ground Subsidence on the Yazd-Ardakan Railway Using Radar Interferometry**, J. Appl. Environ. Biol. Sci., 4(12) PP. 254-263, 2014.
- Zebker, H.A. Rosen, P.A, Goldstein, R.M, Gabriel, A. & Werner, C.L. (1994), **On the Derivation of Coseismal Displacement Fields Using Differential Radar Interferometry: The Landers Earthquake**, Journal of Geophysical Research, 99 (B10), PP. 19617-19634.