



بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی ریگ یلان در بیابان لوت با استفاده از تداخل سنجی راداری

حسین نگارش^۱، صمد فتوحی^۲، رضا منصورى^۳، مسعود سیستانی بدوئی^{۴*}، محمد ذبیحی نژاد^۵

^۱ استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، H_Negaresh@yahoo.com

^۲ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، Fotohi@Gep.usb.ac.ir

^۳ استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، Rezamansouri@Gep.usb.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشگاه سیستان و بلوچستان، Masoud.Sistani@yahoo.com

^۵ کارشناس هواشناسی ایستگاه سینوپتیک، استان کرمان، Mhmd.Zbihi.Nzhad@gmail.com

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای لندفرم‌های متحرک و پویایی هستند که تحت تاثیر فعالیت باد دچار تغییرات ژئومورفولوژیکی فراوانی هم چون جابجایی و یا تغییرات در شکل و ارتفاع می‌شوند. این عوارض به دلیل جاذبه ژئومورفوتوریسم خود باعث جذب گردشگران زیادی در جهان می‌گردند. ریگ یلان واقع در بیابان لوت به دلیل داشتن مرتفع‌ترین هرم‌های ماسه‌ای جهان، یکی از مقاصد گردشگران داخلی و خارجی بوده که لزوم توجه و بررسی این میراث جهانی بیش از پیش احساس می‌شود. در تحقیق فوق که با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته، علاوه بر تشریح وضعیت ژئومورفولوژیکی ریگ یلان، اقدام به تحلیل تغییرات ارتفاعی هرم‌های ماسه‌ای این پهنه با استفاده از داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ با اختلاف زمانی یک ساله بین سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ شده است. نتایج نشان می‌دهد در این فاصله زمانی که می‌توان آن را برای تمام سال‌ها با تغییرات جزئی تعمیم داد، تغییرات زیادی رخ داده است به گونه‌ای که در پولاریزیشن ۷۷ این سنجنده کاهش ۴ سانتی‌متری ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در بخش‌های غربی و شمال غربی و همچنین افزایش ۵ سانتی‌متری ارتفاع آن در قسمت‌های شرقی و بخصوص شمال شرقی چشم‌گیر بوده است. بنابراین افزایش ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای روندی غربی- شرقی داشته و شاهد افزایش ارتفاع آن در قسمت‌های شرقی خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی: بیابان لوت، ژئومورفولوژی، ریگ یلان، تداخل سنجی راداری

Investigation of geomorphological changes of Rig-e Yalan in Lut desert Using InSAR

Hosein Negaresh¹, Samad Fotoohi², Reza Mansouri³, Masoud Sistani Badooei⁴, Mohammad Zabihi Nezhad⁵

¹Ph.D in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan

²Ph.D in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan

³Ph.D in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan

⁴Ph.D. Candidate in Geomorphology and Environmental management, University of Sistan and Baluchestan*

⁵Meteorological master of Synoptic Station, Kerman province

Abstract

Sand dunes are moving and dynamic landforms that undergo many geomorphological changes such as displacement or changes in shape and height due to wind activity. Due to their Geomorphotourism attraction, these effects attract many tourists in the world. Rig Yalan, located in the Lut Desert, due to having the highest Oghourd in the world, is one of the destinations of domestic and foreign tourists, and the need to pay attention to this world heritage is felt more than ever. In this study, which was performed using remote sensing and GIS, in addition to explaining the geomorphological status of Rig Yalan, analyzed the changes of the Elevation in Oghourd of this area using radar data from Sentinel1 satellite with a time difference of one year between 2019 and 2020. The results show that during this period, when it can be generalized for all years with minor changes, many changes have occurred, such that in the VV polarization of this sensor, the height of sand dunes decreased by 4cm in the West and North-West parts and also increased by 5cm. Its height has been impressive in the East parts, especially in the North-east Therefore, increasing the height of the Oghourd has a West to East trend and we will see an increase in its height in the East parts.

Keywords: Lut Desert, Geomorphology, Rig-e Yalan, Radar Interferometry

۱ - مقدمه

ریگزارها مساحت زیادی از جهان را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی ۳۶ درصد از سطح کره زمین به صورت دشت‌های بی آب و مناطق خشک و نیمه خشک و ۱۹ درصد از این سطوح کاملاً خشک و فاقد زندگی گیاهی است که از این مقدار یک چهارم تا یک سوم با ماسه‌های روان پوشانده شده است (کوک و وارن^۱، ۱۹۷۳). این مناطق به دلیل ناپایداری ماسه‌ها دارای دینامیک فعالی بوده و در بازه زمانی اندک، دچار تغییرات ژئومورفولوژیکی زیادی می‌شوند. پدیده فرسایش بادی در اقلیم خشک و نیمه خشک (احمدی، ۱۳۹۱) عامل اصلی تشکیل تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد. حاکمیت شرایط خشک اقلیمی و از طرفی همواری نسبی توپوگرافی در مناطق مرکزی ایران موجب شده است که این مناطق به طور گسترده تحت تأثیر رفت و روب بادی قرار گیرند (رفاهی، ۱۳۸۰). بنابراین منبع اصلی تشکیل هرم‌های ماسه‌ای ریگ لوت سطوح فرسایش یافته حاصل از حفر باد در کلوت‌ها و سطوح شمالی و غربی لوت است. هر چقدر که ارتفاع و حجم تپه‌های ماسه‌ای بیشتر شود، حرکت آن کمتر شده و تحرک کمتری دارد. ریگ لوت به دلیل موقعیت جغرافیایی خود و وضعیت توپوگرافی و شرایط اقلیمی، محل انباشت این ماسه‌ها می‌باشد. روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری حرکت عوارض بیابانی از قبیل برخان، ریگ، ماسه‌های بادی و دیگر عوارض وجود دارد که هر کدام به طریقی حرکت تپه‌های ماسه‌ای را برآورد می‌کنند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۶). تحقیقات زیادی در زمینه جابجایی تپه‌های ماسه‌ای همچون هرمان و سورمان^۲ (۲۰۰۰)، آل هارتی^۳ (۲۰۰۲)، لیو و همکاران^۴ (۲۰۰۵)، ژانگ و همکاران^۵ (۲۰۱۴)، بولگوبرا و همکاران^۶ (۲۰۱۶)، پوتر و ویگاند^۷ (۲۰۱۶)، نگارش و لطیفی (۱۳۸۷)، رامشت و همکاران (۱۳۹۲)، خسروی و همکاران (۱۳۹۴)، فتوحی و همکاران (۱۴۰۰) انجام شده است. با گذشت زمان و استفاده از فنون نوین سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی تغییرات اساسی در روش تحقیق رخ داده است. یکی از این فنون، فنون راداری و روش تداخل سنجی تفاضلی راداری است که در این زمینه پیشرفت چشم‌گیری داشته است. با استفاده از این فنون محاسبه میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای به صورت دقیق صورت می‌گیرد اما به ارتفاع و حجم تپه‌های ماسه‌ای توجه چندانی نشده چرا که علاوه بر محاسبه حرکت این تپه‌ها، محاسبه حجم و افزایش و کاهش ارتفاعات آن نیز مهم بوده و به دلیل اینکه ارتفاع و حجم

¹- Cooke and Warren

²- Herrmann and Sauermann

³- Al Harti

⁴- Liu

⁵- Zhang

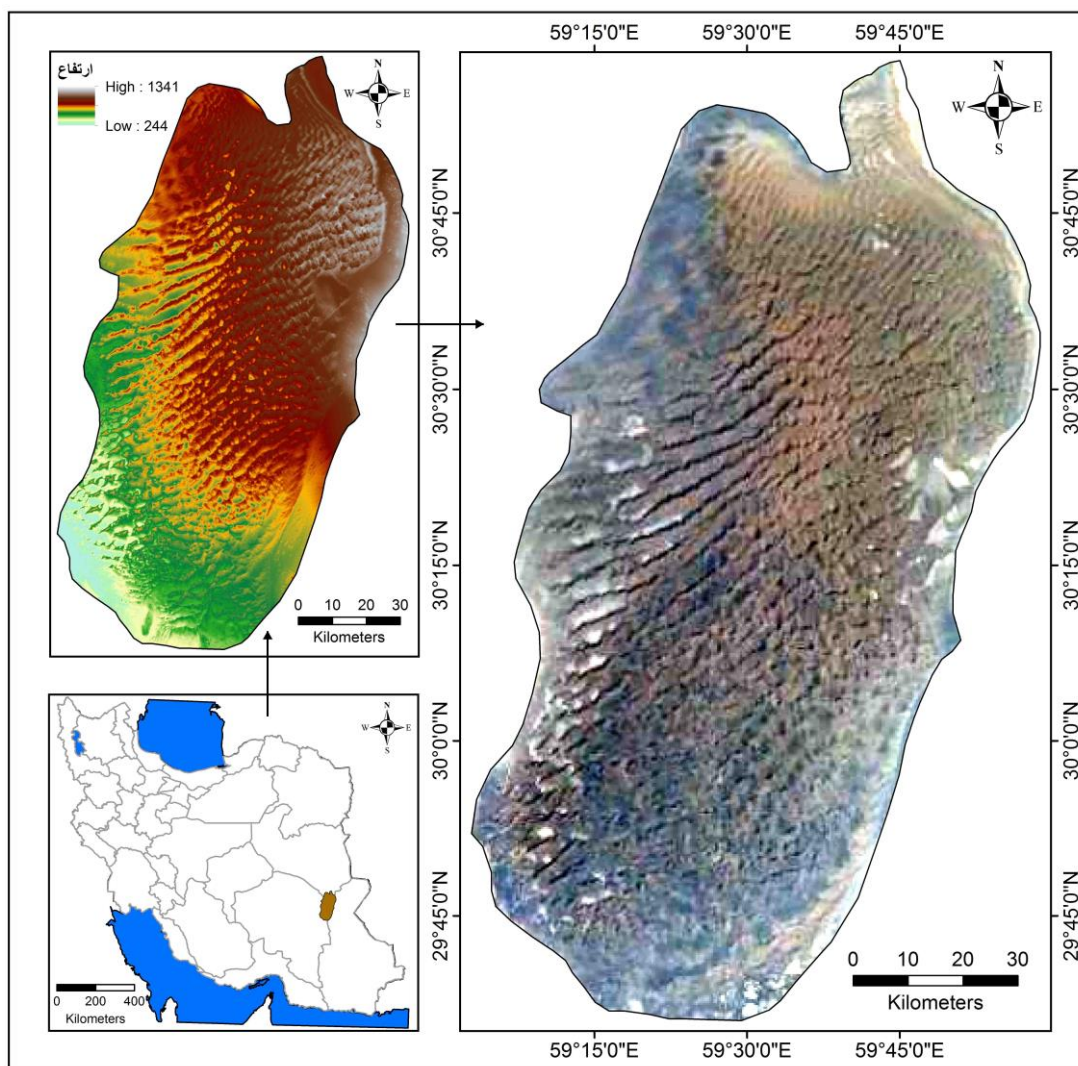
⁶- Boulghobra

⁷- Potter & Weigand

هرم‌های ماسه‌ای در ریگ لوت بسیار زیاد است شاهد جابجایی کمی در آن‌ها هستیم اما سالیانه به ارتفاع و حجم هرم‌ها افزوده شده که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. در تحقیق فوق ضمن استفاده از تجربیات سایر محققین، اقدام به تحلیل تغییرات حجم و ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای ریگ لوت با استفاده از روش تداخل سنجی راداری با داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ شده است.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

ریگ یلان واقع در محدوده شمالی بیابان لوت (علائی طالقانی، ۱۳۹۰) با مساحتی بالغ بر ۱۱۴۹۰ کیلومتر مربع و محیط ۴۷۹ کیلومتر، مابین $59^{\circ} 02' 53''$ تا $59^{\circ} 58' 48''$ طول شرقی و $29^{\circ} 36' 01''$ تا $30^{\circ} 57' 56''$ عرض شمالی واقع است. از نظر تقسیمات سیاسی، ریگ لوت در محدوده مشترک و نقطه اتصال سه استان سیستان و بلوچستان، کرمان و خراسان جنوبی قرار دارد که از کل مساحت آن، ۴۵ درصد در استان سیستان و بلوچستان، ۳۷ درصد در استان کرمان و ۱۸ درصد در استان خراسان جنوبی قرار دارد. راه‌های دسترسی به محدوده مورد نظر صعب العبور و طولانی بوده اما نزدیک‌ترین راه اصلی در رسیدن به این پهنه، در استان سیستان و بلوچستان و شهر نصرت آباد قرار داشته که فاصله‌ای ۳۴ کیلومتری دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه نیز به ترتیب ۲۴۴ و ۱۳۴۱ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).



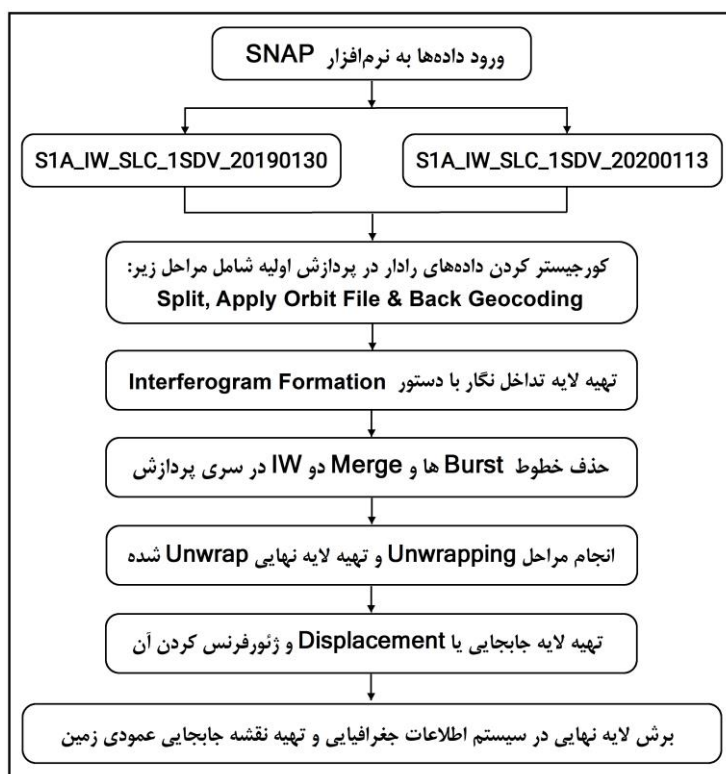
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

۳- داده‌ها و روش پژوهش

جهت تحلیل تغییرات ژئومورفولوژیکی و ارتفاعی ریگ یلان و تحولات آن از داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر اختصاصی دقیق برای پردازش‌های نرم‌افزاری بهره برده شده است. فناوری و تکنولوژی رادار که به لطف توسعه سریع تکنولوژی فضایی فراهم آمده (فرتی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷) با روش تداخل‌سنجی راداری (DInSAR^۲) انجام گرفته که این کار با استفاده از اختلاف سیگنال‌های برگشتی دو داده (آخوندزاده، ۱۳۸۴) در دو زمان متفاوت توسط ماهواره‌ای که با فاصله مشخص از سطح زمین در حال گردش است و قابلیت کار در تمامی شرایط جوی را دارد (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۶) محاسبه شده است. در این پژوهش از اختلاف زمانی یک ساله این داده‌ها استفاده شده است. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در دو سری داده رادار قرار دارد، بنابراین ۲ داده یکسان از سال ۲۰۱۹ و دو داده یکسان از سال ۲۰۲۰ با جهت پرواز ماهواره به صورت Ascending در مسیر ۸۶، چارچوب‌های ۹۴ و ۹۵ و در مد IW با سطح پردازش SLC، پولاریزیشن VV و Baseline زمانی و مکانی قابل قبول دانلود شده و پس از موزائیک کردن آن با دستور (Slice Assembly) آماده پردازش گردیده است. پردازش این داده‌ها نیز در نرم افزار SNAP انجام گرفته و محدوده مورد نظر در دو قسمت داده شامل (IW1: Bursts 8 to 17) و (IW2: Bursts 8 to 17) جداسازی و پردازش شده است. در (جدول ۱) اطلاعات تکمیلی داده‌های رادار و در (شکل ۲) روش کار و انجام مراحل تداخل‌سنجی راداری منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۱- اطلاعات داده‌های رادار ماهواره Sentinel1A دریافتی از سایت (Alaska) پس از مرحله Slice Assembly

تاریخ اخذ داده	بیس لاین زمانی نسبت به داده بعد	بیس لاین مکانی نسبت به داده بعد	مدل کوهرنسی نسبت به داده بعد
2019-01-30	صفر	صفر	صفر
2020-01-13	۳۴۸ روز	۰/۰۷۲	۰/۶۸



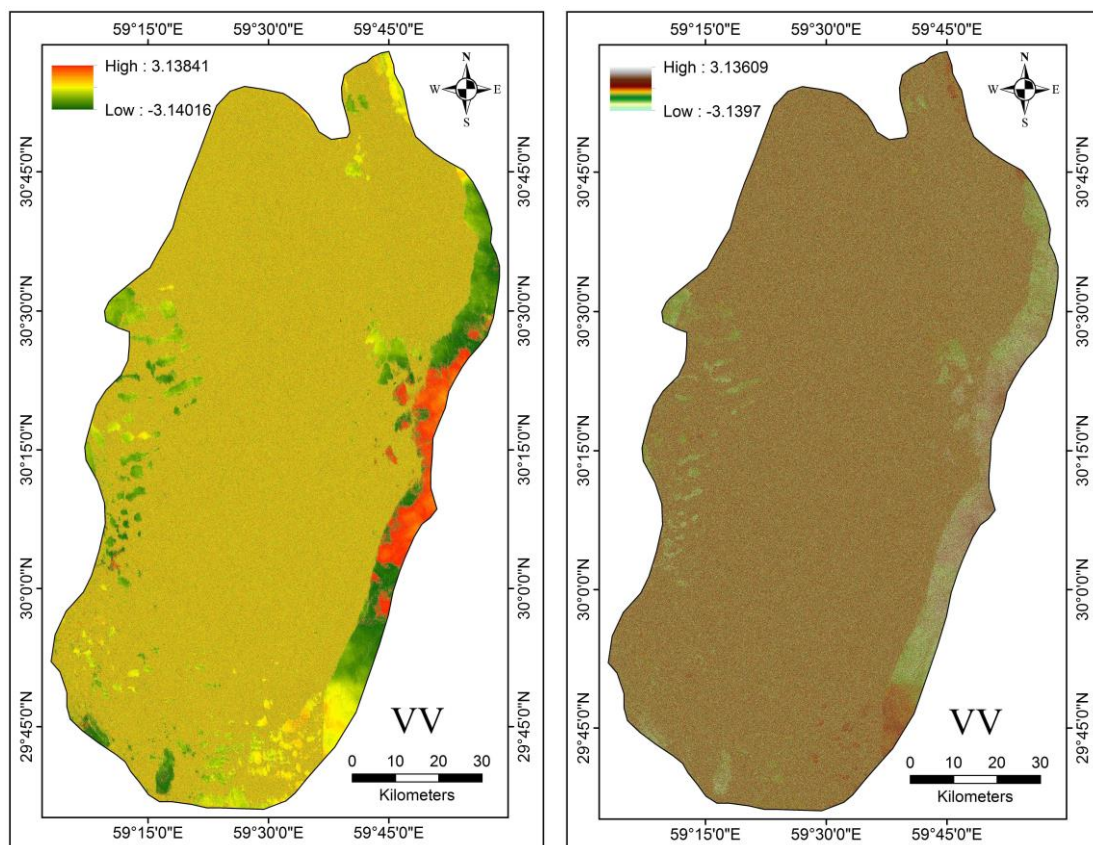
شکل ۲- چارت محاسباتی تداخل‌سنجی تفاضلی راداری در ریگ یلان (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

1- Ferretti

2 - Differential SAR Interferometry

۴- نتایج و بحث

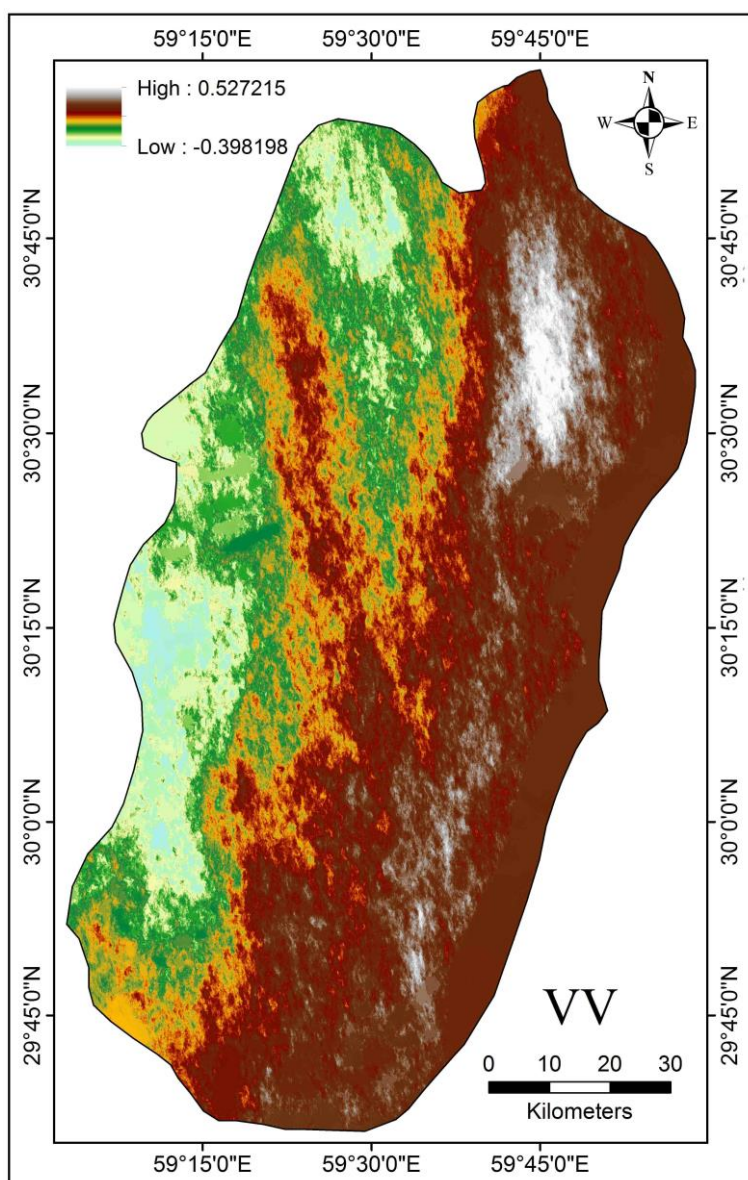
به منظور بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی و ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای ریگ لوت از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری بین سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ استفاده شده و از داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ که از نوع C-Band بوده و دارای نفوذ امواج راداری با طول موجی برابر با فرکانس ۵/۴۰۵ گیگاهرتز می‌باشد استفاده شده است. در شکل ۳ فاز Deburst شده و Merge شده حاصل از خروجی تداخل نگار یا Interferogram در دو سری پردازش IW1 و IW2 که با یکدیگر موزائیک شده‌اند نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴ نیز فاز فیلتر شده حاصل از لایه تداخل نگار با روش Goldstein نشان داده شده است. همانگونه که در تصاویر فوق مشخص است اختلاف فاز بین دو داده در ریگ یلان کاملاً محسوس می‌باشد که دینامیک پویا و جابجایی زیاد ماسه‌های روان در هرم‌های ماسه‌ای را که ناشی از بادهای منطقه است نشان می‌دهد.



شکل ۴- لایه فاز فیلتر شده بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰

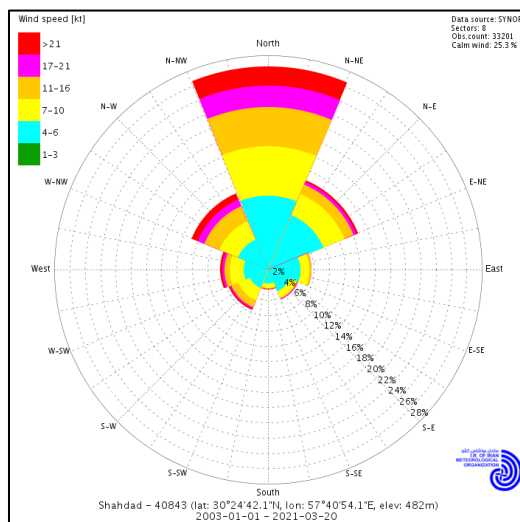
شکل ۳- لایه تداخل نما در بازه زمانی ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰

در این نقشه‌ها بیشترین میزان تغییرات فاز مربوط به قسمت‌های غربی و بخصوص قسمت‌های شرقی ریگ یلان می‌باشد که دلیل آن را می‌توان در شرایط ژئومورفولوژیکی و قدرت جابجایی باد غالب جستجو کرد. بنابراین هرچقدر که ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای کمتر باشد سرعت جابجایی بیشتری را در پی خواهد داشت و یکی از دلایل اصلی اختلاف فاز زیاد در این مناطق ارتفاع کم تپه‌های ماسه‌ای اطراف نسبت به هرم‌های ماسه‌ای مرکز ریگ لوت می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل مقاومت بلوک لوت نسبت به نیروهای درونی زمین، اثر گسل‌ها در تغییرات ارتفاعی در سنگ بستر بلوک لوت و ریگ یلان بسیار کم بوده و تغییرات مشاهده شده تنها در اثر جابجایی تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد. پس از انجام مراحل Unwrapping، لایه Unwrapping شده به لایه جابجایی یا Displacement تبدیل شده و سپس ژئورفرنس می‌گردد. در (شکل ۵) نقشه نهایی جابجایی عمودی ریگ یلان نشان داده شده است که در طول یک سال تغییرات زیادی کرده است.

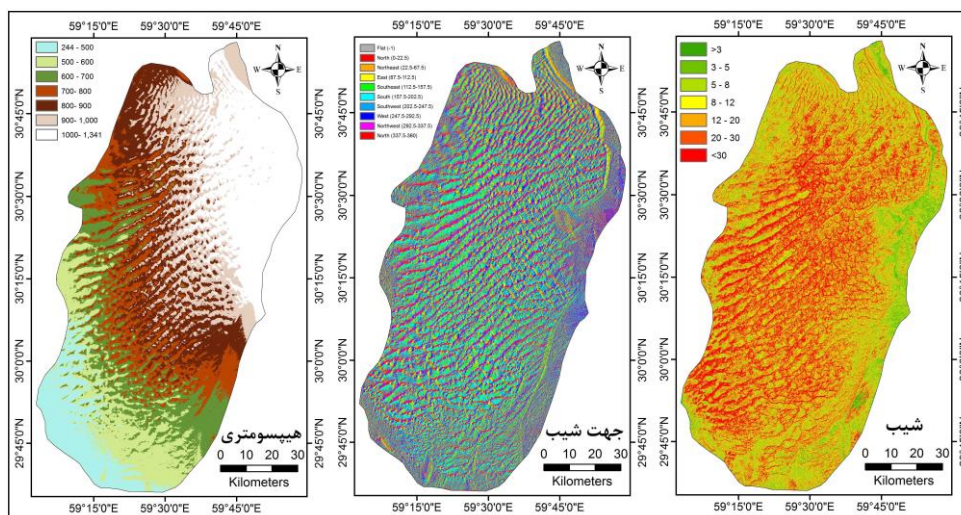


شکل ۵- نقشه نهایی تغییرات ارتفاعی تپه‌ها و هرم‌های ماسه‌ای ریگ یلان (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

همان گونه که در نقشه بالا مشخص است، ارتفاع تپه‌ها و هرم‌های ماسه‌ای در قسمت‌های غربی و شمال غربی ریگ یلان روندی کاهشی داشته است. به گونه‌ای که شاهد سیر نزولی تا ۴ سانتی‌متر در آن هستیم. از آن جایی که این محدوده تحت تاثیر جریان‌های شدید باد شمالی و شمال شرقی قرار دارد بنابراین ماسه‌های قرار گرفته در سطوح تپه‌ها به سمت قسمت‌های شرقی و شمال شرقی حرکت کرده و در آنجا نشست می‌کند. در قسمت‌های مرکزی ریگ لوت نیز تغییرات کمی رخ داده است اما در قسمت‌های شرقی، جنوب شرقی و بخصوص شمال شرقی افزایشی ۵ سانتی متری در ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای رخ داده است. از دلایل این افزایش ارتفاع را علاوه بر حرکت ماسه‌ها از قسمت‌های غربی به قسمت‌های شرقی، می‌توان در جریان‌های شدید باد از غرب به شرق، جنوب غرب به شمال شرق و جنوب به شمال نام برد که در (شکل ۶) گلباد نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک با منطقه که متناسب با شرایط ژئومورفولوژیکی ریگ یلان است (ایستگاه سینوپتیک شهداد) نشان داده شده است. در (شکل ۷) نیز نقشه‌های شیب، جهت شیب و هیپسومتري ریگ یلان نشان داده شده است. بنابراین ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای ریگ یلان در قسمت‌های شرقی و بخصوص شمال شرقی در حال افزایش بوده که به منظور جذب گردشگر و قدم نهادن بر روی بلندترین هرم‌های ماسه‌ای جهان حائز اهمیت است.



شکل ۶- گلباد سالیانه بلند مدت ایستگاه سینوپتیک شهداد (منبع: اداره کل هواشناسی استان کرمان، ۱۴۰۰)



شکل ۷- نقشه‌های شیب، جهت شیب و هیسومتري ریگ یلان (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

۵- نتیجه گیری و جمع بندی

آن چه که در این تحقیق مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است، تغییرات ژئومورفولوژیکی ریگ لوت (ریگ یلان) مرتفع‌ترین ریگ‌زار جهان در محدوده شمالی بیابان لوت با مساحتی بالغ بر ۱۱۴۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. از آنجایی که ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای ریگ لوت در دنیا بی‌نظیر است می‌تواند به عنوان ژئومورفوتوریسم در منطقه مورد توجه قرار گیرد. ریگ لوت در اثر جریان‌های شدید باد از جهات مختلف به صورت مداوم دارای تغییرات زیاد ژئومورفولوژیکی شده و که ارتفاع تپه‌ها و هرم‌های ماسه‌ای در قسمت‌هایی کاسته و در قسمت‌هایی دیگر مرتفع می‌گردد. بنابراین در این تحقیق با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به تحلیل تغییرات ارتفاعی هرم‌های ماسه‌ای این پهنه با استفاده از داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ با اختلاف زمانی یک ساله شده است. نتایج نشان می‌دهد در این فاصله زمانی تغییرات زیادی رخ داده به گونه‌ای که کاهش ۴ سانتی‌متری ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در بخش‌های غربی و شمال غربی و همچنین افزایش ۵ سانتی‌متری ارتفاع آن در قسمت‌های شرقی و بخصوص شمال شرقی چشم‌گیر بوده است. بنابراین افزایش ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای روندی غربی- شرقی داشته و شاهد افزایش ارتفاع آن در قسمت‌های شرقی و بخصوص قسمت‌های شمال شرقی خواهیم بود. نتایج بررسی گلباد سالیانه ایستگاه سینوپتیک شهداد نیز نقش وزش بادهای شدید در جهات مختلف در افزایش ارتفاع این هرم‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهد.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان تحقیق از اداره کل هواشناسی استان کرمان جهت در اختیار قرار دادن گلباد سالیانه ایستگاه سینوپتیک شهداد و از سازمان فضایی اروپا جهت در اختیار قرار دادن داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۷- منابع

- آخوندزاده، م. (۱۳۸۴). نمایش نشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش SAR اینترفرومتری در سنجش از دور، همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه برداری کشور.
- احمدی، حسن (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم. بیابان- فرسایش بادی. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۷۰۶.
- خسروی، محمود؛ صمد فتوحی؛ سلیمان پیروززاده (۱۳۹۴). بررسی تغییرات زمانی- مکانی تپه‌های ساحلی ماسه‌ای با استفاده از سنجش از دور (RS) مورد مطالعه: منطقه غرب زرآباد. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی ۲ (۴): ۱-۱۴.
- رامشت، محمدحسین؛ عبدالله سیف؛ شبنم محمودی (۱۳۹۲). بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۳۸۳ با استفاده از GIS و RS. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، ۱۳۱-۱۲۶.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۸۰، فرسایش بادی و کنترل آن، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۲۰.
- علایی طالقانی، محمود (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی ایران، تهران، نشر قومس، ۳۶۰ ص.
- فتوحی، صمد؛ حسین نگارش؛ رقیه دلارام؛ مسعود سیستانی بدوئی (۱۳۹۹). محاسبه جابجایی تپه‌های ماسه‌ای سیستان با استفاده از سنجش از دور، مجموع مقالات هفتمین همایش ملی انجمن علمی ایرانی ژئومورفولوژی (ژئومورفولوژی، نگاهی نو)، صص ۳۵۶-۳۴۱.
- مقصودی، مهران؛ ابوطالب محمدی؛ زهرا خانابائی؛ صدیقه محبوبی؛ مهدی بهاروند؛ عبدالحسین حاجی زاده (۱۳۹۷). پایش جابجایی ریگ و برخان‌های غرب لوت (پشوئیه). پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۵ (۴)، ۱۸۹-۱۷۶.
- نگارش، حسین؛ لیلا لطیفی (۱۳۸۷). تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق سیستان در خشکسالی‌های اخیر، مجله جغرافیا و توسعه، شماره دوازدهم، ۶۰-۴۳.
- یاراحمدی، جمشید، شهرام روستائی؛ محمد شریفی کیا؛ مه‌آسا روستائی (۱۳۹۷). شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی مطالعه موردی: حوضه آبریز گرمی‌چای میانه. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۴۴-۵۹.
- Al- Harthi, Abbas Aifan (2002). **Geohazard Assessment Of Sand Dunes Between Jeddah and Al-Lith, Western Saudi Arabia**, Environmental Geology , 42, 360-369.
- Boulghobra, Nouar., Dridi., Hadda. (2016). **Fine resolution imagery and gis for investigating the morphological characteristics, and migration rate of barchan dunes in the erg sidi moussa dunefield near in-salah (Algeria)**. Geographia Technica, Vol. 11, Issue 2, pp14 to 21.
- Cooke, R.U. and Warren, A. (1973). **Geomorphology in Deserts**, UCL Press, London, pp: 526.
- Ferretti, A., Savio, G., Barzaghi, R., Borghi, A., Musazzi, S., Novali, F., Prati, C. and Rocca, F. (2007). **Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation**. Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, pp. 1142-1153.
- Herrmann, H.J., Sauerman, G., (2000). **The Shape of Dunes**, Physical A 283, PP. 24-30.
- Liu, L.Y.; Skidmore, E.; Hasi, E.; Wagner, L.; Tatarko, J.; (2005) **dune sand transport as influenced by wind directions, speed and frequencies in the Ordos Plateau, China**, Geomorphology 67, 283-297.
- Potter C and Weigand J (2016). **Analysis of Desert Sand Dune Migration Patterns from Landsat Image Time Series for The Southern California Desert**, J Remote Sensing & GIS, 5: 2.
- Zhang, D., X. Yang, O. Rozier, and C. Narteau (2014), **Mean sediment residence time in barchan dunes**. J Geophys. Res. Earth Surf., 119. 463-451.